



Nico Lehtinen

## **Menetelmä laivan konevarustelun tuotannonohjauksen tehostamiseksi**

Diplomityö, joka on jätetty opinnäytteenä tarkastettavaksi  
diplomi-insinöörin tutkintoa varten.

Espoossa 27.04.2015

Valvoja: Professori Heikki Remes

Ohjaaja: Tekniikan lisensiaatti Matti Nallikari

---

**Tekijä:** Nico Lehtinen

---

**Työn nimi:** Menetelmä laivan konevarustelun tuotannonohjauksen tehostamiseksi

---

**Laitos:** Sovelletun mekaniikan laitos

---

**Pääaine:** Meriteknikka

---

**Koodi:** K3005

---

**Työn valvoja:** Professori Heikki Remes

---

**Työn ohjaaja:** Tekniikan lisensiaatti Matti Nallikari

---

**Päivämäärä:** 27.04.2015

**Sivumäärä:** 56

**Kieli:** Suomi

---

Laivanrakennusteollisuuden projektit ovat monimutkaisia ja kertaluontoisia toimitusprojekteja. Laivan varusteluprosessia ei ole aikataulutettu yksityiskohtaisesti telakoilla, sillä laivan varustelun suunnittelu ja kontrollointi on haastavaa. Lisäksi laivateollisuudessa käytettävä aluerakentaminen muodostaa aikataulujen suunnittelussa ongelman, sillä suunnittelu ja käyttöönotto toteutetaan järjestelmittäin kun taas rakentaminen tapahtuu alueittain. Erityisesti konetornin konevarustelun aikatauluttaminen on osoittautunut laivaprojekteissa haasteelliseksi, koska se sisältää suurimman osan laivan järjestelmistä.

Tässä tutkimuksessa keskityttiin Arctech Helsinki Shipyardin laivanrakennusprojektien konetornin konevarustelun aikatauluhaasteisiin. Työssä selvitettiin, miten konetornin konevarustelu tulee osittaa niin, että konetornin kriittinen polku tulee huomioitua. Lisäksi tutkimuksessa tarkasteltiin, miten kriittisen polun tehtävien riippuvuussuhteet tulee määritellä. Konevarustelun tehtävien resurssit ja kestot rajattiin tarkastelun ulkopuolelle. Kirjallisuuden pohjalta valikoitiin parhaimmat projektinhallinnan työkalut konetornin konevarustelun osittamiseksi. Tässä tutkimuksessa hyödynnettiin niin kutsuttua analyttistä menetelmää. Lisäksi hyödynnettiin telakan toiminnanohjausmallia yhdessä venäläisten luoman MCR (Mechanical Completion Report) -toiminnanohjausmallin kanssa.

Tutkimustulosten pohjalta kehitettiin menetelmä konetornin konevarustelun osittamiseksi. Menetelmällä luodaan järjestelmäpohjaiset tehtäväverkot konetornin konevarustelulle. Menetelmällä luodut tehtäväverkot sisältävät aluekohtaiset tehtävät järjestelmille. Menetelmää soveltamalla kaikkiin konetornin järjestelmiin voidaan koko konetorni osittaa ja jakaa alue- ja järjestelmäaikatauluihin. Tämä mahdollistaa laivaprojektin edistymisen seurannan sekä aluerakentamistavan että järjestelmäpohjaisen suunnittelun mukaisesti.

Menetelmästä saatiin luotua monipuolinen tapa ryhmitellä ja osittaa aluetehtäviä järjestelmille, joka kuitenkin ottaa huomioon telakan käyttämän rakentamistavan. Menetelmässä onnistuttiin myös integroimaan eri mallien hyvät puolet yhdistämällä niihin projektinhallinnan hyväksi todettuja työkaluja. Menetelmän avulla on mahdollista selvittää konetornin kriittinen polku, jos sitä jatkokehitetään ottamaan huomioon tehtävien kestot.

---

**Avainsanat:** Tuotannonohjaus, konevarustelu, kriittinen polku, projektinhallinta

---



---

**Author:** Nico Lehtinen

---

**Title of thesis:** A method for enhancing the production planning of ship machinery outfitting

---

**Department:** Department of Applied Mechanics

---

**Major:** Naval Architecture

**Code:** K3005

---

**Supervisor:** Professor Heikki Remes

---

**Thesis advisor:** Matti Nallikari, Lic.Sc. (Tech.)

---

**Date:** 27.04.2015

**Number of pages:** 56

**Language:** Finnish

---

Shipbuilding industry projects are complex and one-of-a-kind made-to-order projects. The outfitting processes for ships are not scheduled in detail, because the planning and controlling of the outfitting process is challenging. In addition, the area construction method that is used in shipbuilding industry creates a problem, because planning and initialization are system based, but construction is area based. Scheduling the machinery outfitting in ship projects has proven to be especially challenging, because most of the systems are located in machinery spaces.

This research is focused on the machinery outfitting scheduling challenges of Arctech Helsinki Shipyard shipbuilding projects. The purpose is to find out how to breakdown the machinery outfitting process, so that the critical path is taken into account. In addition, it is discussed how the interdependences of critical path tasks should be defined. The resources and durations of machinery outfitting tasks are not included in this research. The best project management tools were chosen for breaking down the machinery outfitting process. In this research, the so-called analytical method is exploited. In addition to the literature review, the shipyards own and the Russian MCR (Mechanical Completion Report) production planning models are incorporated to the research.

From the research, a method for breaking down the machinery outfitting process was developed. System based task networks can be generated with the method. The system based task networks also include area-based tasks. By applying the method to all machinery systems, the machinery outfitting process can be broken down and divided into system and area based schedules. This enables better progress evaluation in system based planning and area based construction.

The developed method is a diverse way to breakdown and group area based tasks for systems. In addition, the method also takes into account the method of construction that is used at the shipyard. The method also successfully integrates the different production planning models combining them with well-tried project management tools. The critical path of machinery outfitting can also be investigated, if the method is further developed to take into account the durations of machinery outfitting tasks.

---

**Keywords:** Production planning, machinery outfitting, critical path, project management

---

## Esipuhe

Tämä diplomityö on tehty Arctech Helsinki Shipyard Oy:n toimeksiantona ja rahoittamana, josta haluaisin heitä kiittää. Tässä diplomityössä on kehitetty menetelmä laivan konevarustelun tuotannonohjauksen tehostamiseksi. Menetelmän avulla laivan konevarustelu voidaan osittaa niin, että se ottaa huomioon konevarustelun loogiset riippuvuussuhteet.

Haluaisin kiittää professori Heikki Remestä ja työn ohjaajaani Matti Nallikaria, jotka ovat antaneet minulle hyviä neuvoja ja kannustavaa palautetta. Lisäksi haluan kiittää Mattia aihepiirin ideoinnista. Erityiskiitokseni haluan osoittaa Taru Havakselle. Hän on jaksanut neuvoa ja kannustaa minua oman työnsä ohella. Haluan myös kiittää niitä Helsingin telakan työntekijöitä, jotka ovat osallistuneet tähän työhön.

Vaimoani Tuuliaa haluan kiittää hänen tuestaan opiskelujeni ja diplomityöni aikana. Tämän työn aikana syntyi lisäksi esikoistyttäreni Luna, joka on tuonut minulle lisävoimia ja piristystä työni parissa. Haluan myös kiittää vanhempiani heidän tuestaan opiskeluvuosiini aikana.

Lopuksi haluan muistaa Pekka-ukiani, joka ehti nukkua pois ennen kuin sain diplomityöni valmiiksi.

*Do not pray for an easy life, pray for the strength to endure a difficult one.*  
– Bruce Lee

Espoossa 27.4.2015

Nico Lehtinen

## Sisällysluettelo

Lyhenteet.....	v
1 Johdanto .....	1
1.1 Tutkimuksen tausta.....	1
1.2 Työn tavoitteet ja rajausta .....	5
2 Projektinhallinta .....	7
2.1 Projekti määritelmänä.....	7
2.2 Onnistuneen projektin kriteerit.....	9
2.3 Projektinhallinta määritelmänä.....	10
2.4 Työnositus .....	12
2.5 Janakaavio .....	16
2.6 Kriittinen polku .....	18
3 Laivaprojektien toiminnanohjauksen nykytilanne .....	23
3.1 Helsingin telakan toiminnanohjausmalli varustelussa .....	25
4 Menetelmä konetornin konevarustelun tehostamiseksi .....	28
4.1 Järjestelmäpohjainen aikataulu.....	28
4.2 Järjestelmälähtöinen tuotteenositus .....	30
4.3 Alue tehtävien määrittely .....	31
4.4 Tehtäväverkon luominen .....	32
5 Menetelmän sovelluskohteiden valinta .....	34
5.1 Sovelluskohteiden työnositus .....	34
5.2 Sovelluskohteiden tehtäväverkot.....	37
5.3 Malliaikataulun luominen.....	40
6 Tulosten tarkastelu .....	42
7 Johtopäätökset.....	45
8 Lähdeluettelo.....	46

## Lyhenteet

ABS	Assembly Breakdown Structure. Kokoonpano-ositus, jonka avulla otetaan huomioon tuotteen kokoonpano järjestys työnosituksessa
AHS	Arctech Helsinki Shipyard
Alueaikataulu	Laivanrakennuksessa käytettävän rakennusalueen aikataulu
Aluerakentaminen	Laivanrakennustapa, jossa laiva on jaettu rakennusalueisiin
AoA	Activity-on-Arrow. Nuoliverkkomenetelmä, jossa tehtäväverkon tehtäviä kuvataan nuolilla
AoN	Activity-on-Node. Lohkoverkkomenetelmä, jossa tehtäväverkon tehtäviä kuvataan laatikoilla
CPM	Critical Path Method. Kriittisen polun menetelmä, jota käytetään selvittämään projektin kriittinen polku tehtäväverkon avulla
DTR	Dock Trial Report. Laiturikoeraportointi on MCR-toiminnan ohjausmalliin liittyvä raportointimalli laivan laiturikoita varten
Gantt-kaavio	Toiselta nimeltään janakaavio, on esitystapa projektin tehtäville, jossa tehtävät on kuvattu suorakaiteen muotoisina janoina kuvaajaan. Kuvaajan vaaka-akselilla on aika ja pystyakselilla tehtävät
Konetorni	Laivan osa, joka koostuu konehuoneesta, pumppuhuoneesta ja kuilusta
Konevarustelu	Laivan koneistoon liittyvien laitteiden ja osien varustelua
Kriittinen polku	Projektiin liittyvien tehtävien joukko, joissa ei ole pelivaraa. Kriittisellä polulla olevien tehtävien viivästyminen viivästyttää koko projektin aikataulua
MCR	Mechanical Completion Report. Venäjän valtion projekteissa käyttämä raportointimalli, jota käytetään AHS:llä eräissä laivaprojektissa
OBS	Organizational Breakdown Structure. Organisaatio-ositus ottaa organisaation rakenteen huomioon työnosituksessa

PBS	Product Breakdown Structure. Tuotteenosituksessa tuote ositetaan siihen kuuluvien osien mukaan
Pelivara	Aikaväli, jossa tehtävä voidaan toteuttaa ilman projektin aikataulun viivästymistä
PERT	Program Evaluation and Review Technique. Menetelmää käytetään selvittämään projektin kriittinen polku tehtäväverkon ja tilastollisen laskennan avulla
Tehtäväverkko	Tehtäväverkolla esitetään projektiin liittyvät tehtävät ja niiden riippuvuudet
Todellinen valmius	Kuvastaa tehtävän todellista edistymää
Tehtävä	Työnosituksessa määritelty projektin osa, jolla on myös kesto
Valmiusaste	Kertoo tehtävän edistymisen. Valmiusaste saadaan lasketua tehtävään kuluneiden tuntien ja suunniteltujen tuntien suhteesta
WBS	Work Breakdown Structure. Työnositus on projektin pilkkomista pienempiin helpommin hallittavaan tehtäviin.

# 1 Johdanto

Gardinerin ja Stewartin (2000) tutkimuksen mukaan tuotannonohjauksen suurimpana haasteena on se, että projektit epäonnistuvat tavoitteiden, kustannusten ja laadun saavuttamisessa. Varovainen arvio tutkimuksessa kustannusten ylittymisestä suuressa määrässä projekteja on, että 50 prosenttia rakennusprojekteista ja 63 prosenttia tietojärjestelmäprojekteista ylittävät budjettinsa. Budjetoidut kustannukset ylittyvät tyypillisesti jopa 40–200 prosenttia. (Gardiner & Stewart, 2000) Projekteissa on merkittävän paljon parannettavaa myös keston ja kustannuksien osalta. Esimerkiksi projektin kestoä lyhentämällä, vähentävät projektin laatuongelmat, mikä puolestaan pienentää kustannuksia. (Bachy & Hameri, 1997) Varsinkin projektien aikatauluilla on suuri merkitys projektien keston, laatuun ja kustannuksiin. Aikataulujen merkitys korostuu myös laivaprojekteissa. Tämän työn tarkoituksena on keskittyä Arctech Helsinki Shipyardin (AHS) laivanrakennusprojektien aikatauluihin. Tarkastelun kohteena on työalusten konetornin varustelun aikataulutuksen kehittäminen.

## 1.1 Tutkimuksen tausta

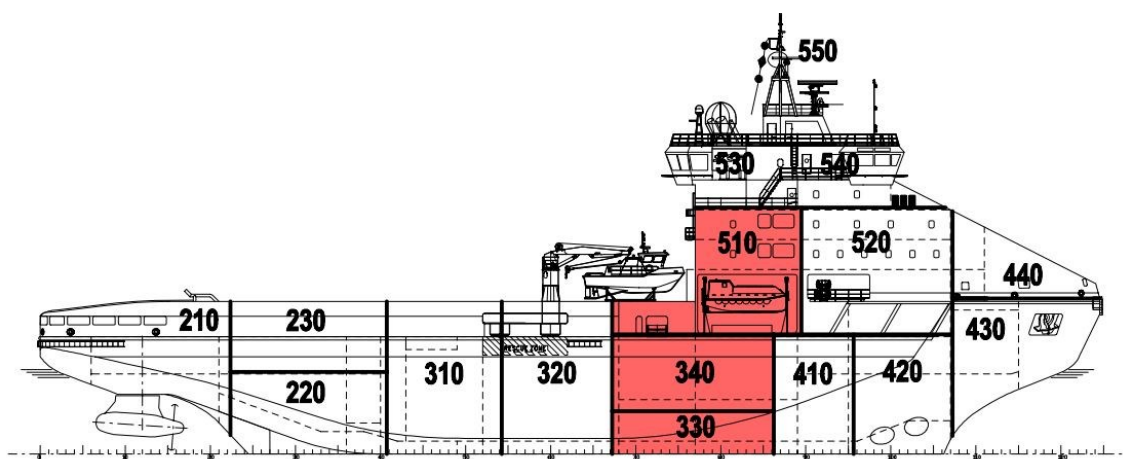
Arctech Helsinki Shipyard on rakentanut yli 500 laivaa vuodesta 1865 lähtien. AHS on erikoistunut arktiseen meriteknologiaan ja laivanrakennukseen, jonka päätuotteina ovat jäänmurtaajat sekä arktiset offshore- ja erikoisaluukset. AHS:n missiona on kehittää ja toimittaa parhaat ratkaisut arktiselle merenkululle. Esimerkkinä tästä kuvassa 1 on esitetty AHS:n rakentama innovatiivinen ja rungoltaan epäsymmetrinen jäätämurtava pelastusalus. AHS omaa pitkän kokemuksen arktisen laivanrakennuksen tutkimuksesta ja sen visiona on olla johtava brändi arktisessa laivanrakennuksessa. (Arctech Helsinki Shipyard Oy, 2014)





**Kuva 1 Rungoltaan epäsymmetrinen jäätämurtava pelastusalus (Arctech Helsinki Shipyard Oy, 2014)**

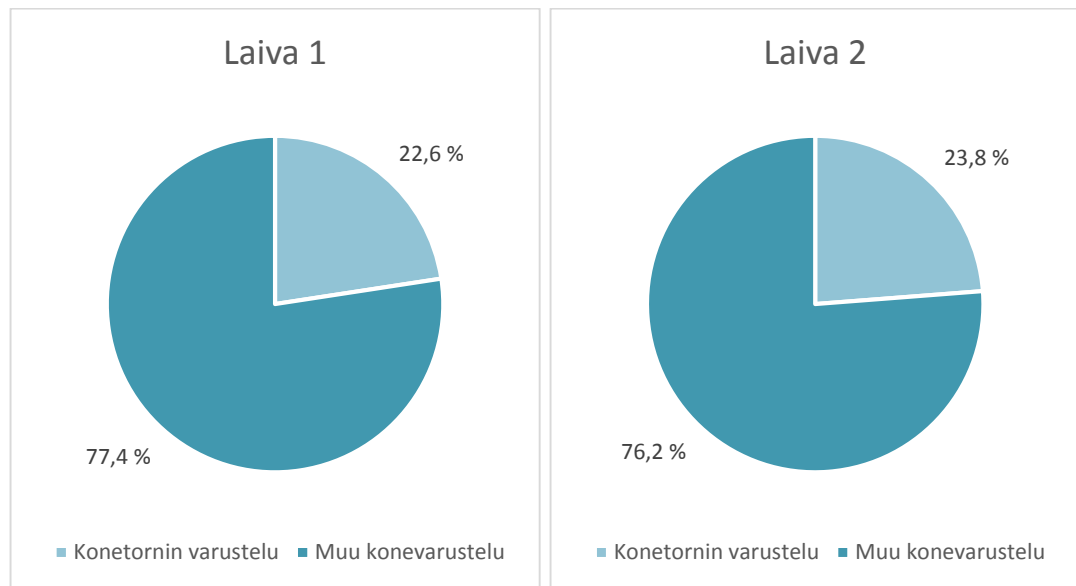
Käytännössä kaikki laivat rakentuvat samankaltaisista alueista, kuten konehuone, ohjaamo ja pumppuhuone. Kuitenkin konetornin (tarkoittaa pumppuhuonetta, konehuonetta ja kuilua) rakentamiseen kuluu enemmän työtunteja työlaivoissa kuin muissa laivoissa. Kuvassa 2 on nähtävissä konetorni. Kuvassa laivan lohkot 330, 340 ja 510 muodostavat konetornin. Konetornin suuren varustelutiheyden seurauksena sen aikatauluttaminen ja toiminnanohjaus on haasteellista työlaivoissa, joissa miehistön asuintilat eivät ole merkittävät.



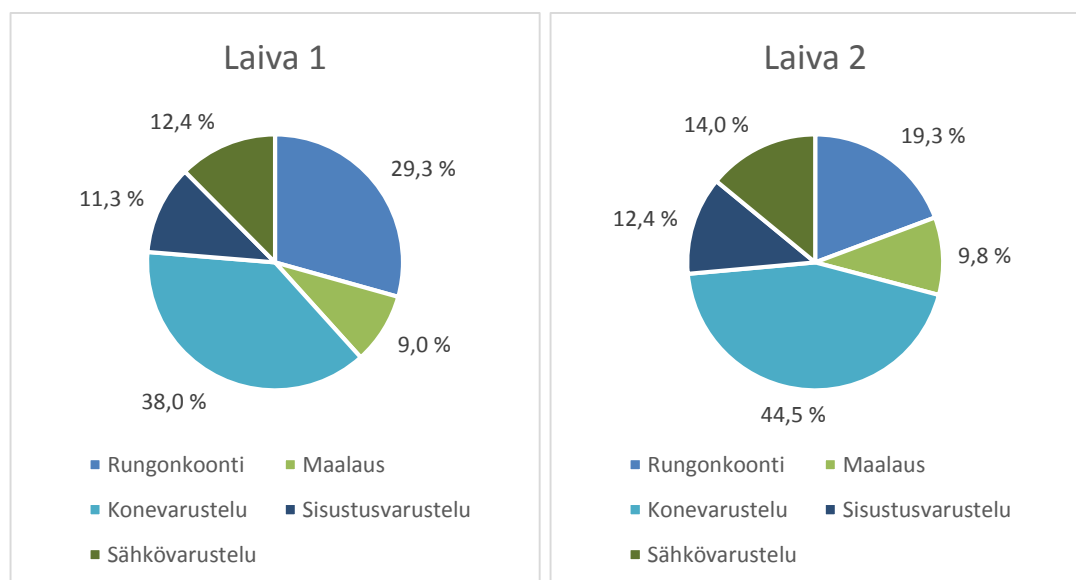
**Kuva 2 Konetorni (Havas, 2014)**

Konetorniin kulutetut tunnit suhteessa muuhun konevarusteluun on esitetty kuvassa 3. Kuvasta nähdään, että esimerkkijäänmurtajissa konetorniin kuluu melkein neljännes koko

laivan konevarustelun tunneista. Kuvassa 4 verrataan koko laivaan kulutettuja tunteja. Huomataan että konevarustelun osuus koko laivan tunneista on noin 40 prosenttia. On syytä ottaa huomioon, että laivat yksi ja kaksi ovat sisäraluksia. Koska laiva yksi rakennettiin ensimmäiseksi, sen rungonkoontiin kului enemmän tunteja kuin laivan kaksi rungonkoontiin. Tämän takia laivan kaksi konevarustelun osuus kokonaistunneista on suurempi.



**Kuva 3 Konetornin varustelu suhteessa muuhun konevarusteluun (Havas, 2014)**



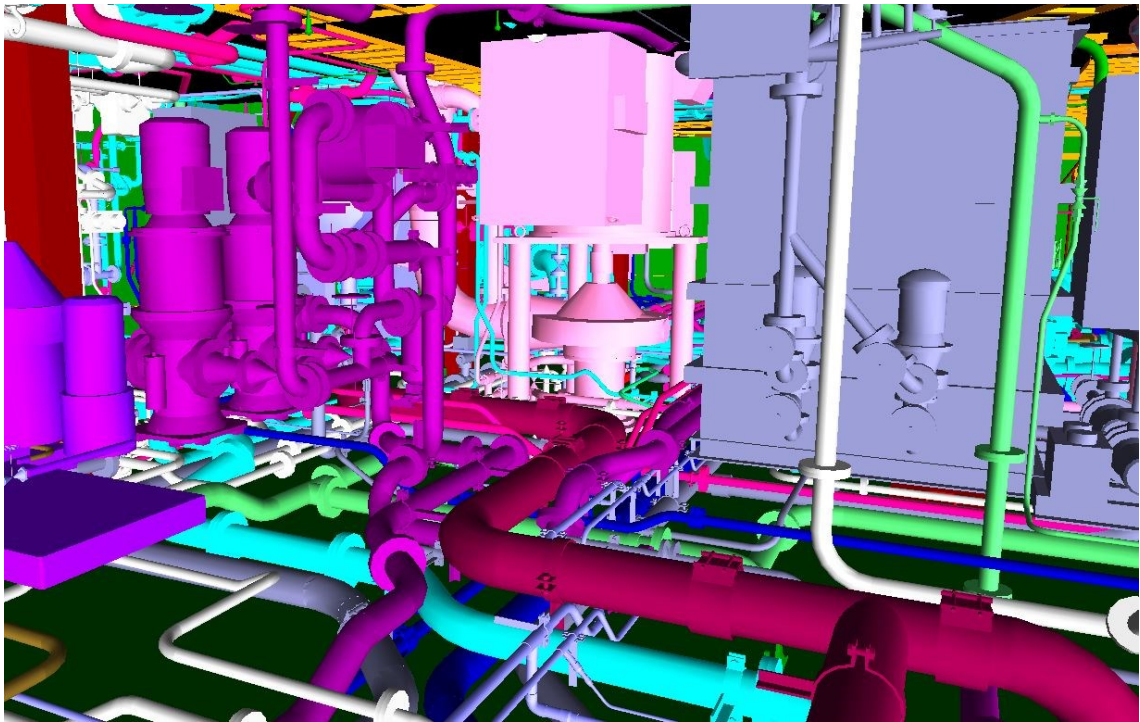
**Kuva 4 Konevarustelun tuntien suhde koko laivaan käytettyihin tunteihin (Havas, 2014)**

Laivan varustelu organisoidaan tyypillisesti viiteen osastoon: varustelun tuotannonsuunnitteluun, lohkovarusteluun, konevarusteluun, sisustusvarusteluun ja sähkövarusteluun (Holmström, 1997). Tämä malli on käytössä myös AHS:llä. Konevarustelulla on suuri merkitys laivan kokonaiskustannuksiin ja läpimenoaikaan. Konevarusteluun kuluu karkeasti noin 40 prosenttia kaikista tunneista, josta neljännes kuluu konetornin varusteluun. Konetornin varustelulla on siten suuri vaikutus laivaprojektien kestoon ja näin ollen myös kustannuksiin. Konetorni muodostaa AHS:llä rakennettavien työalusten varustelun kriittisen polun (Kujala, 2015). Tässä tutkimuksessa keskitytään konetornin konevarusteluun, sillä sen aikatauluttaminen on osoittautunut laivaprojekteissa haasteelliseksi.

Laivanrakennuksessa suunnittelu alkaa järjestelmittäin ja etenee aluekohtaiseksi. Valmistusprosessi puolestaan alkaa alueittain ja loppuu järjestelmien käyttöönottoon. Kiteytettynä voidaan siis todeta, että suunnittelu tehdään järjestelmittäin, mutta valmistus alueittain. Koska varustelu tapahtuu alueittain, käytetään alueaikatauluja. Alueaikataulut AHS:llä eivät kuitenkaan ole osoittautuneet toimivaksi ratkaisuksi, sillä niissä niputetaan kaikkien alueella olevien järjestelmien työt isoiksi tehtäviksi. Esimerkiksi kaikkien alueella olevien järjestelmien putkityöt niputetaan yhdeksi isoksi putkitehtäväksi.

Tehtävien pitkän keston ja suuren tuntimäärän vuoksi on mahdotonta arvioida tarkasti tehtävän edistymistä. Tämän takia projektin johto ei saa luotettavaa tietoa laivaprojektin valmiudesta. Lisäksi järjestelmien runsaus alueella muodostaa ongelman tehtävien edistymisen arvioimisessa, kuten kuvasta 5 voidaan huomata. Kuvassa eriväriset putkistot kuvaavat eri järjestelmiä. AHS:llä on myös käytössä eräässä laivaprojektissa MCR (Mechanical Completion Report) -toiminnanohjausmalli, jossa tehtävät on pilkottu pieniksi paloiksi. MCR-toiminnanohjausmallissa haasteeksi ei muodostu tehtävien kesto vaan niiden paljous, joka vaikeuttaa projektin seuranta ja arviointia.

Aikatauluttamisen haasteeksi muodostuu myös se, että konetornin varustelun kriittistä polkua ei ole selkeästi määritelty. Kriittisen polun tehtävien loogiset riippuvuudet ovat hiljaisena tietona työntekijöillä. Ilman riippuvuuksia on mahdotonta tietää kriittistä polkua. Tällä hetkellä AHS:llä ei pystytä seuraamaan konetornin kriittiselle polulle asettuvien varustelutöiden edistymistä. Näin ollen on mahdollista, että jokin kriittinen tehtävä jää tekemättä, mikä pidentää laivaprojektin kesto ja nostaa siten kustannuksia.



Kuva 5 3D-malli laivan pumppuhuoneesta (Arctech Helsinki Shipyard Oy, 2015)

## 1.2 Työn tavoitteet ja rajaus

Tutkimuksen tarkoituksena on kehittää työlaivan konetornin konevarustelutyölle malliaikataulu ja toiminnanohjaustapa. Malliaikataulun ja toiminnanohjaustavan tavoitteena on helpottaa raportointia, parantaa ennakoimista ja ohjata työntekoa. Konetornin konevarustelun malliaikataulupohjasta on tarkoitus luoda selkeä ja yksinkertainen, jossa tehtävien loogiset riippuvuudet ovat nähtävissä. Lisäksi on syytä ottaa huomioon tehtävien laajuus, sillä se vaikuttaa tehtävän valmiusasteen seuraamiseen ja raportointiin. Kestoltaan liian suuri tehtävä vääristää ja vaikeuttaa valmiusasteen seurantaa, mikä aiheuttaa turhaa työtä raportoinnin osalta aluetyönjohtajille. Toiminnanohjaustavan luomiseen on tarkoituksena hyödyntää jo olemassa olevan toiminnanohjaustavan ja -mallin hyötyjä, sekä hyödyntää muita mahdollisia toiminnanohjausmalleja.

Tämän tutkimuksen tarkoituksena on selvittää, miten konetornin konevarustelu tulee osoittaa niin, että konetornin kriittinen polku tulee huomioitua. Koska työssä keskitytään kriittisen polun osittamiseen ja malliaikataulun luomiseen, voidaan tehtäviin tarvittavat resurssit ja kestot jättää tarkastelun ulkopuolelle. Konetornin konevarustelun aikatauluihin

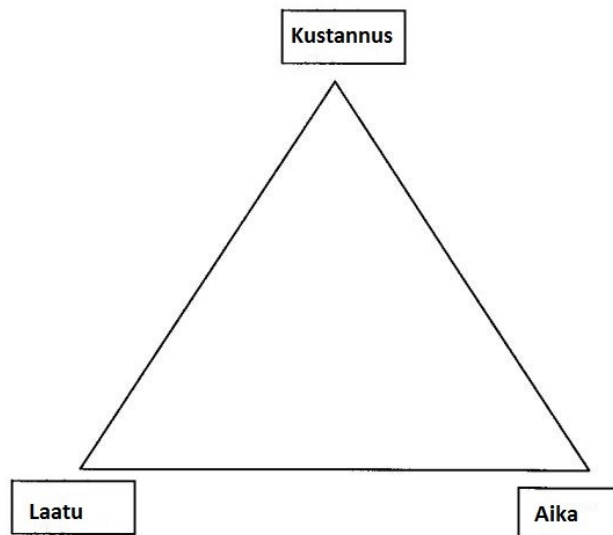
kytkeytyy myös muita tiloja, kuten tankit. Nämä rajataan tarkastelun ulkopuolelle, sillä tutkimuksessa keskitytään pelkästään konetornin konevarusteluun. Tutkimuskysymyksen ja edellä mainittujen rajausten lisäksi tutkimuksessa tarkastellaan, miten kriittisen polun tehtävien riippuvuussuhteet tulee määritellä. Tässä tutkimuksessa luotavan malliaikataulun on tarkoitus yhdistää molempien mallien hyvät puolet ja lisäksi integroida nykyi-  
kaisten aikataulutustyökalujen kanssa. Tämän avulla malliaikatauluun saadaan selville tehtävien väliset loogiset riippuvuudet, jotka puuttuvat molemmista malleista.

## 2 Projektihallinta

Kappaleessa tarkastellaan projektia käsitteenä ja tutustutaan eri tekijöihin, jotka vaikuttavat projektin onnistumiseen. Tämän jälkeen tarkastellaan projektihallintaa. Tarkoituksena on määritellä projektihallinta käsitteenä ja tarkastella kuinka projektihallinta eroaa projektista. Lisäksi tutustutaan erilaisiin projektihallinnan aikataulutustyökaluihin.

### 2.1 Projekti määritelmänä

Artto, et al. (2008, pp.35), Koppenjan, et al. (2011) ja Pelin (1990, pp. 15) määrittelevät projektit hieman eri tavoin. Määritelmistä voidaan kuitenkin muodostaa yhteinen näkemys siitä, että projektit ovat ainutkertaisia ja niillä on päämäärä. Artto, et al. (2008, pp.32–34) ja Atkinson (1999) määrittelevät projektille kolme tavoitetta, jotka ovat laajuus-, aika- ja kustannustavoitteet. Kuvassa 6 on esitetty projektin tavoitteet, siten laajuuden tilalla on laatu. Kuvan kolmio symbolisoi tavoitteiden riippuvuutta toisistaan, eli kuinka projektin tulos on riippuvainen tavoitteiden yhteisvaikutuksesta (Artto, et al., 2008, pp. 32-34). Esimerkiksi jos projektin aikataulua on lyhennettävä, joudutaan todennäköisesti tinkimään laadusta (Pelin, 1990, pp. 14-15).

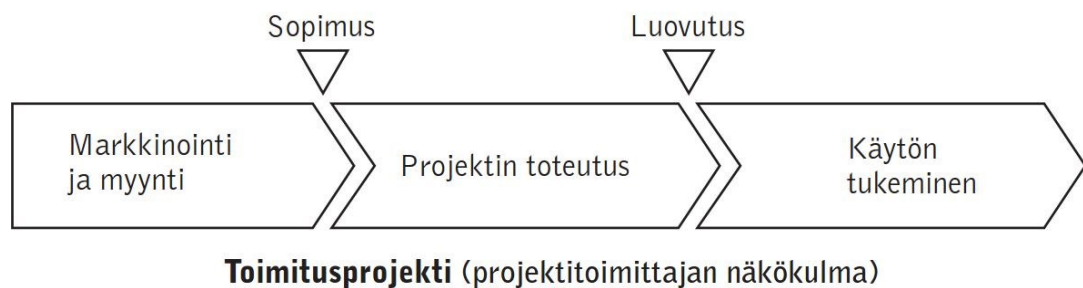


Kuva 6 Projektin tavoitteet (Atkinson, 1999)

Projektin aikataulu on ennalta määritelty. Se kertoo koska tuotteen pitää olla valmis ja asiakkaan käytettävissä. Aika on voimakas rajoite projektille, sillä sitä ei pystytä lisäämään. Ainoa tapa, jolla kyetään vaikuttamaan projektin aikatauluun, on projektin yksit-

täisten tehtävien kestoon vaikuttaminen. Tämä muodostaa kuitenkin kustannuskysymyksen, sillä määriteltäessä aikataulua yksittäisiin tehtäviin kohdistetaan tietty määrä resursseja. Resursseja lisäämällä voidaan lyhentää tehtävän kestoa, mutta samalla se lisää kustannuksia. Tämä on toinen esimerkki siitä, kuinka projektin kolme tavoitetta kytkeytyvät toisiinsa. (Artto, et al., 2008, pp. 32-34)

Pelin (1990, pp.17–19) ryhmittelee projektit luonteensa perusteella seuraavasti: tuotekehitys-, tutkimus-, toiminnankehittämis-, toimitus- ja investointiprojektit. Tämän työn kannalta oleellisin projektityyppi on toimitusprojekti. Pelin (1990, pp.17–19) määrittelee sen projektiksi, jonka yritys tekee toimeksiannosta asiakkaalle. Hänen mukaansa toimitusprojekti alkaa sopimuksesta ja päättyy luovutukseen asiakkaalle. Kuvassa 7 on esitetty toimitusprojekti projektitoimittajan näkökulmasta.



**Kuva 7 Toimitusprojekti projektitoimittajan näkökulmasta (Artto, et al., 2008, p. 50)**

Projektit ovat monimutkaisia kokonaisuuksia. Rakennusprojekteja voidaan kuvailla monimutkaisimmiksi projekteiksi ihan millä tahansa teollisuuden alalla. Esimerkiksi rakennusteollisuudella on vaikeuksia selviytyä projekteistaan, jotka monimutkaistuvat koko ajan. (Baccarini, 1996) Vaikka monet projektipäälliköt käyttävät termiä monimutkainen projekti, ei sille ole tarkkaa määritelmää. On vain yleisesti hyväksytty näkemys, että kyseessä on jotain muuta kuin pelkästään suuri projekti (Williams, 1999).

Monimutkaista projektia on vaikea määritellä, mutta Baccarini (1996) nostaa esille tekijöitä, joihin monimutkaisuus projekteissa vaikuttaa. Hänen mukaansa projektin monimutkaisuus vaikeuttaa projektin päämäärien määrittelyä, mutta auttaa päättämään projektin suunnitteluun ja koordinointiin liittyviä edellytyksiä. Lisäksi hän nostaa esille monimutkaisuuden vaikutuksen projektin tavoitteisiin: projektin monimutkaisuuden kasvaessa myös aika ja kustannukset kasvavat.

Teollisuusyrityksissä työtehtävien aikatauluttaminen ja suunnittelu ovat välttämättömiä, jos halutaan saavuttaa tehokas tuotannonhallinta kilpailevassa ympäristössä, missä tuotantokustannuksia pitää alentaa (Guerin, et al., 2012). Projektin suunnittelussa pääpaino asetetaan siihen, kuinka rajallisia resursseja kohdistetaan projektista riippuvaisille tehtäville tai toiminnoille. Näin saadaan pienennettyä projektin kestoa tai kontrolloitua sen budjettia. (Li, et al., 2011)

Projektin aikataulun suunnittelemisen alkaa ylhäältä alaspäin. Ensiksi hyväksytään päätaivoitteet, jonka jälkeen ne pilkotaan pienempiin tehtäviin. Projektien aikataulutuksessa tulee ottaa huomioon useita eri tekijöitä, jotta siitä saataisiin mahdollisimman toimiva. (Pelin, 1990, pp. 96-97) Pelin (1990, pp 96–97) täsmentää hyvän aikataulun kriteerejään seuraavasti:

- Toteuttamiskelpoinen aikataulu on realistinen ja mahdollinen.
- Luotettava aikataulu on paikkansapitävä ja huolellisesti arvioitu.
- Yksiselitteinen ja kattava aikataulu sisältää kaikki projektin tehtävät.
- Riittävän yksityiskohtainen aikataulu mahdollistaa tarkan seurannan projektin edistymisestä.
- Riippuvuussuhteet sisältävä aikataulu pitää sisällään tehtävien ja työvaiheiden keskinäiset riippuvuussuhteet.
- Resurssien tulee olla määriteltynä tehtäville.
- Helppolukuinen aikataulu on jaettu selkeisiin osakokonaisuuksiin.
- Yleisesti hyväksytty aikataulu on projektin eri osapuolien yhteisesti hyväksymä.

## **2.2 Onnistuneen projektin kriteerit**

Munnsin ja Bjeirmin (1996) sekä Whiten ja Fortunen (2002) mukaan projektin onnistumiseen kannalta on tärkeää, että sillä on realistinen ja selkeä päämäärä, asiakkaan vaatimukset täyttyvät ja projekti valmistuu aikataulussa sekä pitäytyy budjetissa. White ja Fortune (2002) määrittelevät lisäksi viisi kriittisintä tekijää, jotka vaikuttavat projektin lopputulokseen: selkeät päämäärät, realistiset aikatalut, ylemmän johdon tuki, riittävät resurssit ja asiakkaan sitoutuminen. Vertaamalla näitä kriittisiä tekijöitä projektin onnistumisen tekijöihin voidaan todeta, että projektin onnistumisen kannalta on tärkeää,



että sillä on realistinen aikataulu, johon on liitetty riittävät resurssit sekä selkeä, mutta realistinen päämäärä.

Hameri (1997) ja Pelin (1990, pp.21) kuvailevat projektin epäonnistuvan useista tekijöistä johtuen. Epämääräisesti asetetut ja turhan monipuoliset projektin tavoitteet tai niiden puuttuminen, jäykät projektin suunnittelu- ja aikataulutusrutiinit, hidas reagointi yllättäviin muutoksiin projektissa sekä odottamattomat tekniset ongelmat ovat uhka projektin onnistumiselle. Lisäksi Pelin katsoo epäonnistumiseen vaikuttavan myös, ettei projektin suunnittelun ja ohjauksen työkaluja tunneta tai osata käyttää.

Edellä mainituista epäonnistumiseen vaikuttavista tekijöistä voidaan huomata, että ne ovat onnistumiseen vaikuttavien tekijöiden ”peilikuvia”. Esimerkiksi monipuolinen näkemys projektin tavoitteista, epämääräiset tavoitteet tai tavoitteiden puuttuminen ovat epäonnistumiseen vaikuttavia tekijöitä, kun taas selkeä ja realistinen päämäärä on onnistumiseen vaikuttava tekijä. Tämän työn kannalta on oleellista ottaa huomioon aikataulun vaikutus projektin onnistumiseen, sillä projektin onnistumisen kannalta on tärkeää, että sillä on realistinen aikataulu.

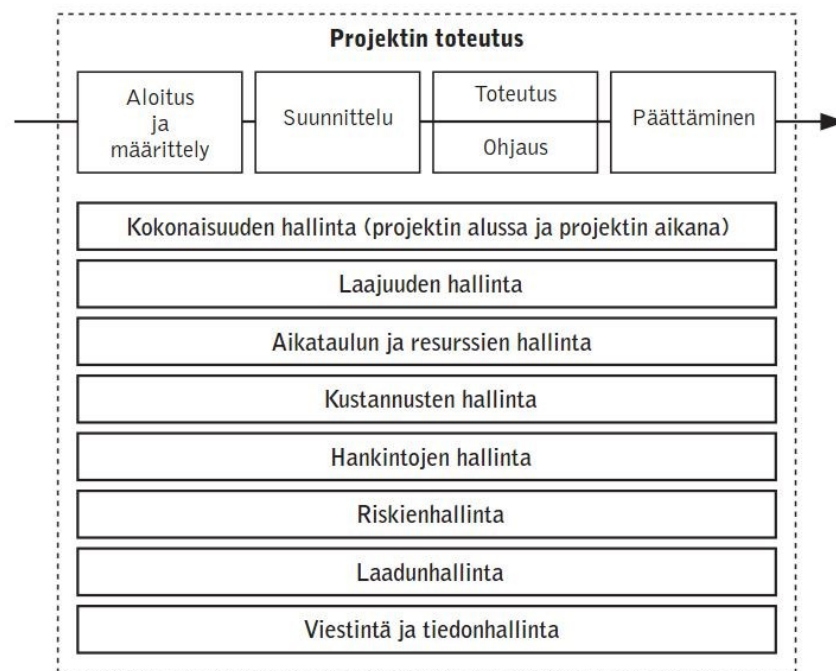
### **2.3 Projektinhallinta määritelmänä**

Projektinhallinta on nykyään yleisesti hyväksytty tieteenala, johon on kehitetty erilaisia metodeja ja tekniikoita (White & Fortune, 2002). Artto, et al. (2008, pp.35) sekä Munns ja Bjeirmi (1996) kiteyttävät projektinhallinnan projektin tavoitteiden ja päämäärän saavuttamiseen tähtäävien työkalujen, tekniikoiden ja johtamistapojen soveltamiseksi. Atkinson (1999) listaa lisäksi lukuisia muita määritelmiä projektinhallinnalle. Yhtäläisyytenä niistä voidaan huomata, että projektinhallinta tähtää projektin päämäärien saavuttamiseen. Edellä mainittujen määritelmien perusteella voidaan todeta, että projektinhallinta on erilaisten työkalujen ja tekniikoiden hyödyntämistä projektin päämäärien saavuttamiseksi.

Munnsin ja Bjeirmin (1996) mukaan projektin tarkoituksena on valikoida työtehtävä, josta on kokonaisvaltaista hyötyä yritykselle. Tämä hyöty voi olla rahallista, kaupankäynnillistä tai teknistä, joka ulottuu koko elinajalle. Heidän mukaansa projektinhallinta puolestaan on suuntautunut suunnitteluun ja hallintaan, jossa

päämääränä on pysyä aikataulussa, budjetissa ja asianmukaisissa suorituskysymyksissä.

Jotta projektin päämääriä voidaan riittävällä tasolla hallita, pitää projekti jaotella helpommin hallittaviin osa-alueisiin. Artto, et al. (2008, pp. 37–38) listaa yhdeksän tietoaletta projektinhallinnassa. Heidän mukaansa nämä tietoaletat toimivat projektinhallinnan osa-alueina, jotka sisältävät erilaisia toimintatapoja, menetelmiä ja työkaluja. Kuvassa 8 on esitetty projektinhallinnan tietoaletat ja sen lisäksi myös projektin toteutuksen vaiheet. Kuvassa on yhdistettynä aikataulun ja resurssien hallinta yhdeksi tietoaletaksi. Kuvasta 8 voidaan huomata, että tietoaletat vaikuttavat jokaisessa projektin toteutuksen vaiheessa.



**Kuva 8 Projektin toteutusvaiheet ja projektinhallinnan tietoaletat (Artto, et al., 2008, p. 100)**

Tämän tutkimuksen kannalta oleellisin projektinhallinnan tietoaletta on aikataulun hallinta. Aikataulun hallinta sisältää tarvittavat työkalut ja menetelmät, joilla pystytään varmistamaan, että projekti pystytään toteuttamaan sovitussa ajassa. Menetelmät ja työkalut, jotka aikataulun hallintaan sisältyvät, ovat tehtävien määrittely, tehtävien välisten riippuvuuksien ja kestojen määrittely, aikataulujen ohjaus ja muutosten hallinta. On syytä kuitenkin ottaa huomioon, että resurssien hallinnalla on vahva kytkös aikataulun hallintaan, sillä aikataulutetut toimet kuluttavat resursseja. (Artto, et al., 2008, pp. 121–122)

## 2.4 Työnositus

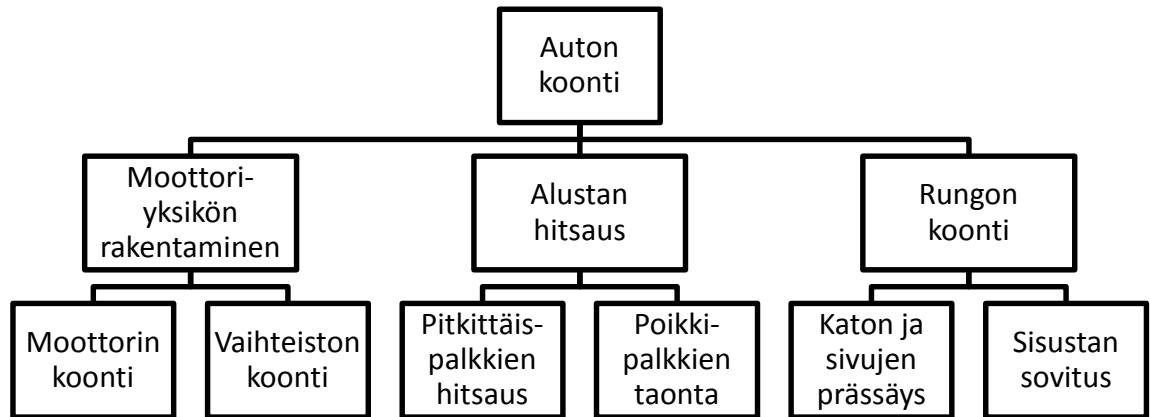
Työnositus eli WBS (Work Breakdown Structure), on työkalu, joka on kehitetty suurten projektien johtamisen keskeiseksi työkaluksi. Sen avulla projekti jaetaan tehtäviin, jotka muodostavat hierarkkisen järjestelmän. WBS on hyödyllinen työkalu, koska sitä voidaan käyttää projektin suunnitelmien, aikataulujen, budjettien ja raporttien pohjana. (Pelin, 1990, pp. 79-81) Bachyn ja Hamerin (1997), Lanfordin ja McCannin (1983) ja Globersonin (1994) mukaan WBS toimii projektin kunnollisen suunnittelun, toteutuksen ja hallinnan selkärankana. Myös Artto, et al. (2008, pp. 112–117) nostavat työnosituksen keskeiseksi rakenteeksi projektin laajuuden ja sen toteuttamiseksi tarvittavan työn suunnittelussa.

Työnositus voidaan määritellä projektin pilkkomiseksi, missä projekti jaetaan pienempiin tehtäviin tai komponentteihin (Lester, 2003, p. 31). Artto, et al. (2008, pp. 112) mukaan työnosituksessa toteutettavan tuotteen edellyttämät työt kuvataan tuotteen komponentteina ja niiden edellyttäminä työelementteinä. Toisaalta Pelinin (1990, pp. 79) mielestä työnosituksessa projekti jaetaan täsmällisesti määriteltyihin elementteihin, jotka muodostavat hierarkkisen järjestelmän. Kaiken kaikkiaan voidaan todeta, että työn osituksen tarkoituksena on jakaa projekti pienempiin, helpommin hallittaviin elementteihin.

Työnositus lähtee liikkeelle päätehtävien osittamisesta, jonka jälkeen ne pilkotaan pienemmiksi paloiksi. (Lester, 2003, p. 31) Artto, et al. (2008, pp. 112-113) tarkentavat ositusprosessin lähtevän liikkeelle projektin tuotteesta, joka jaetaan tehtäväkokonaisuuksiin. Nämä tehtäväkokonaisuudet pilkotaan pienemmiksi paloiksi, kunnes saadaan yksittäisiä työpaketteja ja tehtäviä. Pelin (1990, pp. 81) puolestaan toteaa, ettei ole yhtä ainoaa oikeaa tapaa osittaa projektia. Erityistä huomiota hänen mielestään tulisi kiinnittää siihen, että työnositus aloitetaan suuritöisyytensä vuoksi ajoissa.

Kuvassa 9 on esitetty esimerkki auton työnosituksesta. Kuvassa on käytetty erilaisia työnosituksen erittelyperiaatteita. Työn ositus voidaan toteuttaa erilaisin erittelyperiaatteiden mukaan. Erilaisia ositusmenetelmiä voivat olla esimerkiksi rakenteellinen ositus, työlajin mukainen ositus, vaiheittainen ositus, järjestelmiin

osittaminen, maantieteellinen ositus ja osastokohtainen ositus (Artto, et al., 2008, p. 114; Pelin, 1990, p. 81).



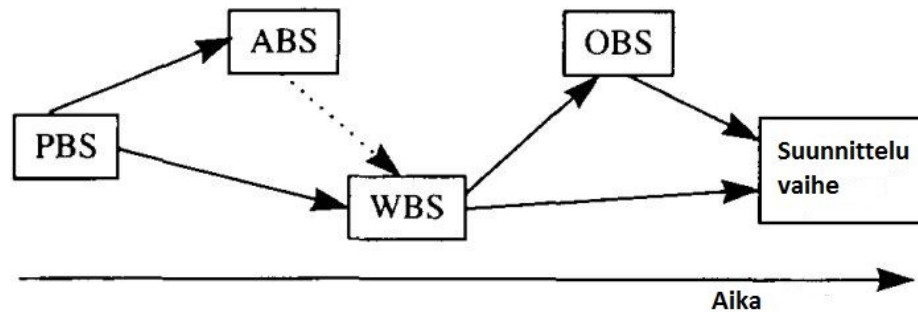
**Kuva 9 Esimerkki työnosituksesta (Lester, 2003, p. 33)**

Artto, et al. (2008, pp. 113) mukaan työnositusta voidaan pitää projektin kannalta keskeisenä työvälineenä. Heidän mukaansa työnositusta voidaan käyttää suunnittelun ja seurannan tukena, mutta työnositus tarjoaa myös seuraavat puitteet suunnittelun muille osa-alueille:

- laajuuden varmistamiselle
- koko projektin ja osaprojektien suunnittelulle ja raportoinnille
- kustannusten ja budjetin luomiselle ja raportoinnille
- aika- ja resurssitarpeen määrittelylle ja seurannalle
- tavoitteiden ja resurssien yhteensovittamiselle
- projektin seurannalle ja sidosryhmäverkoston luomiselle
- vastuiden kohdistamiselle
- tarvittaessa myös rahoituksen ja sopimusten suunnittelulle

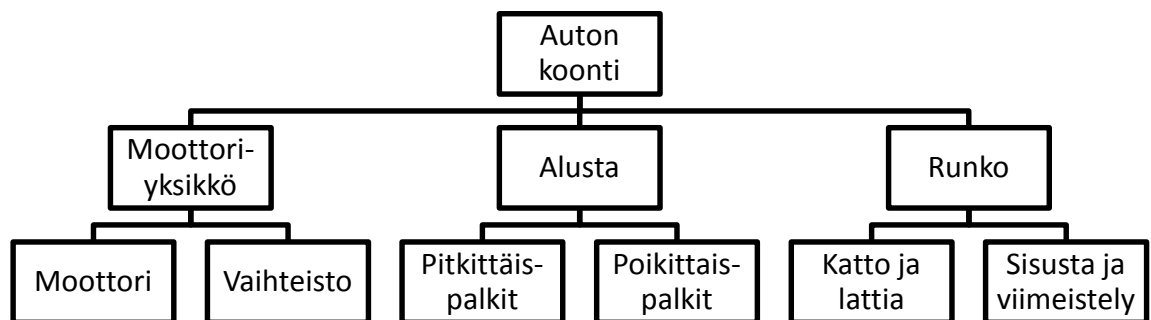
Työnosituksen onnistumiseksi tarvitaan Bachyn ja Hamerin (1997) mukaan tuotteenositusta (PBS, Product Breakdown structure). Lisäksi he nostavat esiin kokoonpano-osituksen (ABS, Assembly Breakdown Structure) ja organisaatio-osituksen (OBS, Organisation Breakdown Structure) tärkeyden onnistuneen työnosituksen toteuttamiselle. Kuvassa 10 on esitetty eri ositusmenetelmien kytkökset työnositukseen. Heidän mukaansa tuotteenositus kokoonpano-osituksen lisäksi muodostaa edeltävän

vaiheen työnosituksessa, joka yhdessä organisaatio-osituksen kanssa mahdollistaa onnistuneen työnosituksen.



Kuva 10 Työnosituksen edeltävät vaiheet (Bachy & Hameri, 1997)

Bachyn ja Hamerin (1997) mukaan tuotteenositus koostuu puurakenteesta, joka kuvailee tuotteen koko kokoonpanon. Heidän mukaansa tuotteenositus sisältää myös ohjeet tuotannolle, koneistukselle ja laadunvalvonnalle. Nämä muodostavat puurakenteen oksat ja tasot. Lisäksi he määrittelevät, että olennaisten tuotteen osien tekniset kuvaukset muodostavat puurakenteen lehdet. Arto, et al. (2008, pp. 112) mukaan tuotteenositusrakenne havainnollistaa lopputuloksen laajuutta, ja tuotteenositusta käytetään myös lähtökohtana määrittettäessä työtä, jota tarvitaan projektin päämäärän saavuttamiseen. Kuvassa 11 on esimerkki tuotteenosituksesta autolle.

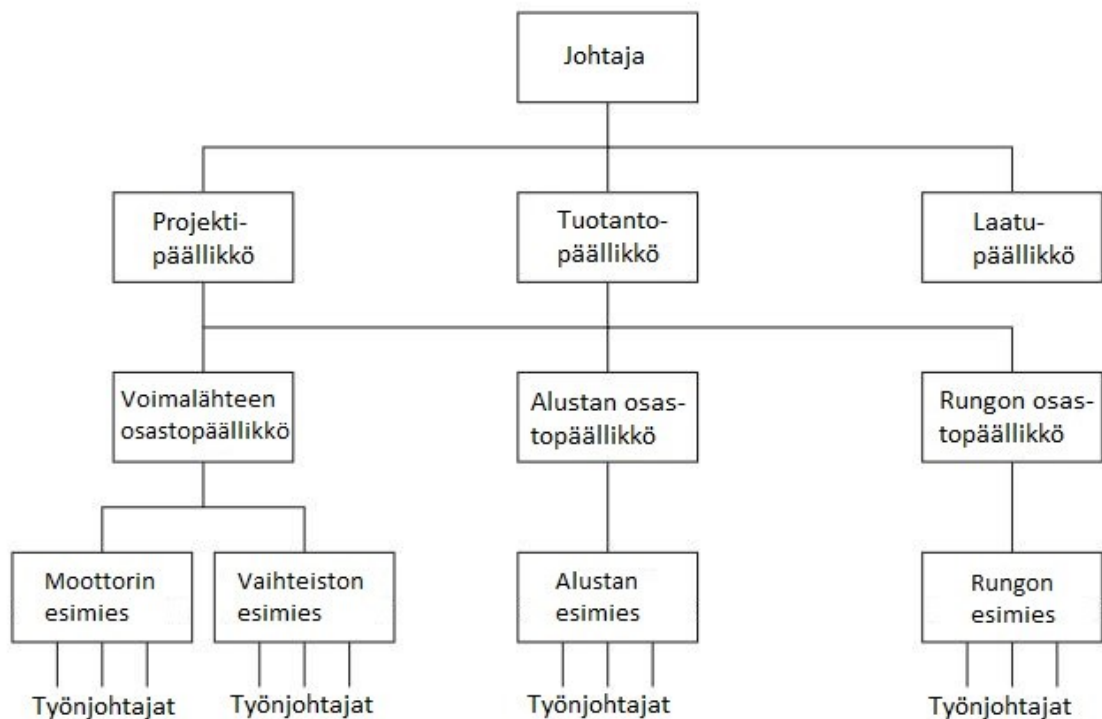


Kuva 11 Esimerkki tuotteenosituksesta (Lester, 2003, p. 33)

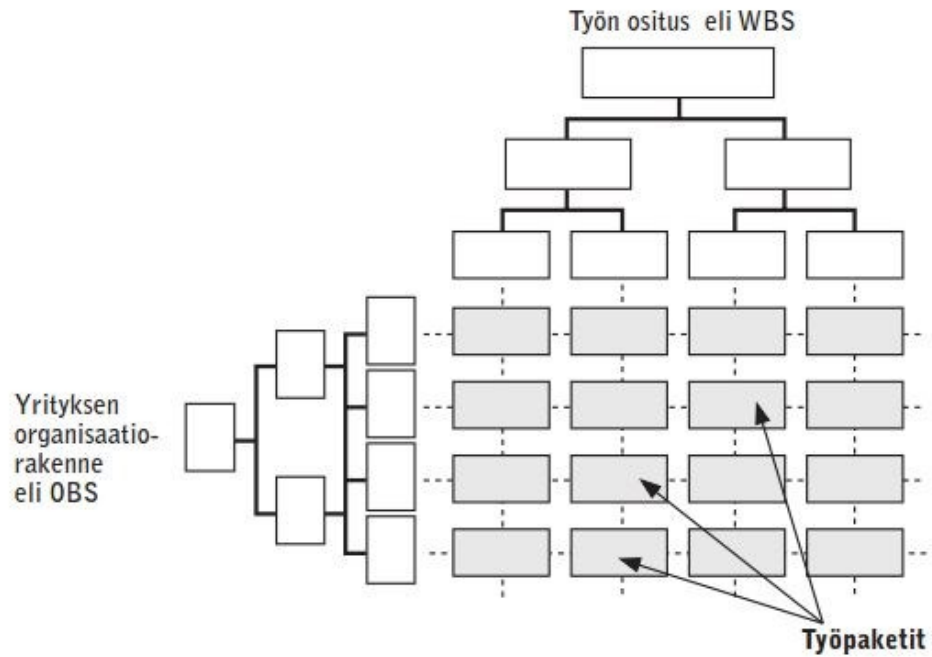
Kokoonpano-ositus tukee tuotteenositusta ja sen avulla luodaan rajat työnositukselle. Kokoonpano-ositus voidaan joko sisällyttää tuotteenositukseen suurissa projekteissa tai se voidaan ottaa huomioon työnositusta luodessa. On syytä kuitenkin huomioida että kokoonpano-ositus eroaa suuresti tuotteenosituksesta. Kokoonpano-ositus sisältää kuvauksen ajasta riippuvien tehtävien jonosta, jotka pitää olla valmiina ennen koko

projektin viimeistä kokoonpanoa. Lisäksi kokoonpano-ositus sisältää tietoa osista ja toiminnoista mitkä muuttavat tuotteenosituksessa luotua kokoonpanojärjestystä. (Bachy & Hameri, 1997)

Kun tuotteen- ja kokoonpano-ositukset ovat luotu, voidaan muodostaa työnositus. Tässä vaiheessa otetaan huomioon organisaatio-ositus. Organisaatio-ositus on samankaltainen sukupuutyypinen jaottelu projektiorganisaatiolle kuin työnositus on projektille (Lester, 2003, p. 35). Kuvassa 12 on esimerkki organisaatio-osituksesta ja kuvassa 13 on esitetty työnosituksen ja organisaatio-osituksen vuorovaikutus. Bachy ja Hameri (1997) mukaan projektiorganisaation rakenne määrittelee työnosituksen ylimpien tasojen rakenteen. Heidän mukaansa työnosituksen ei tulisi suuresti poiketa jo olemassa olevasta organisaatorakenteesta, eikä myöskään organisaatio-osituksen tulisi sanella millainen työnosituksen tulisi olla.



Kuva 12 Esimerkki organisaatio-osituksesta (Lester, 2003, p. 36)

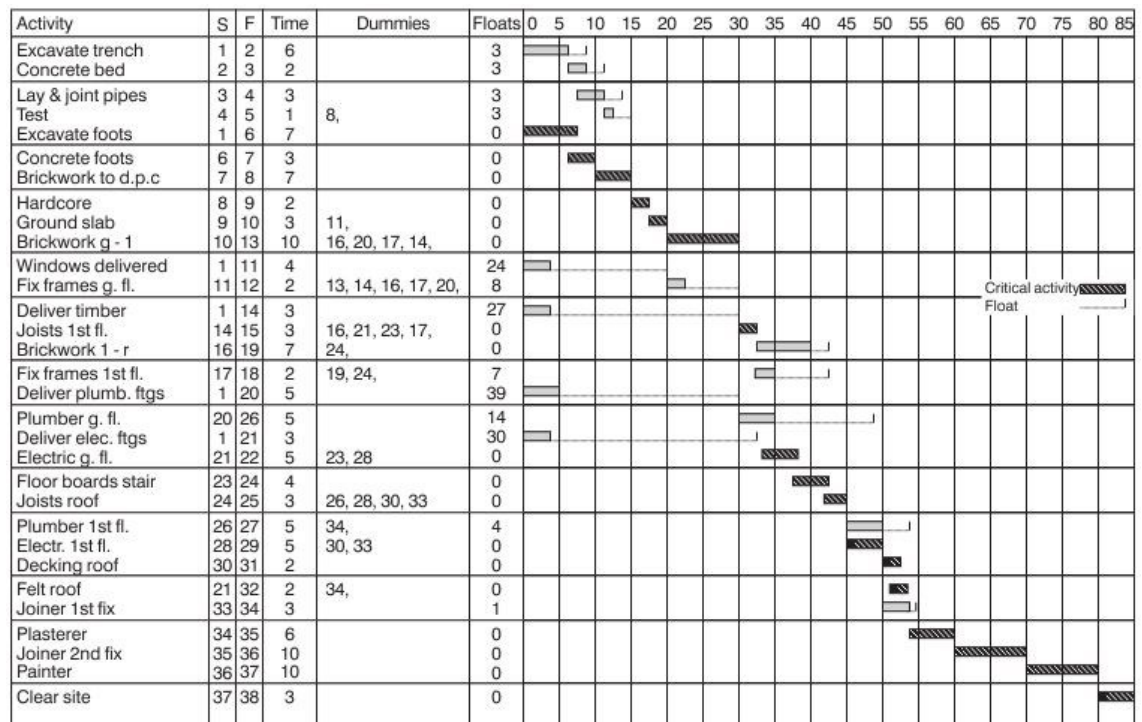


Kuva 13 Työn ositus ja organisaatio-ositus yhdessä (Artto, et al., 2008, p. 143)

Työnosituksesta voidaan huomata, että se on monimutkainen prosessi, jolla on suuret vaikutukset projektin onnistumiseen. Artto, et al. (2008, pp. 113) kiteyttävät, että työnosituksessa tehdyt virheet ja onnistumiset heijastuvat helposti kaikkialle projektiin. Tämän takia malliaikataulupohjaa luodessa on syytä pohtia työn kannalta järkevin ositusmenetelmä ja muistaa käyttää jo olemassa olevaa organisaatio-ositusta työnosituksen tukena.

## 2.5 Janakaavio

Janakaavio on edelleen suosittu projektinhallinnan työkalu, vaikka se on ollut jo käytössä yli vuosisadan (Wilson, 2003). Pelinin (1990, pp.114–115) mukaan janakaavion vahvuutena on selkeys ja helppolukuisuus. Hänen mukaansa on syytä kuitenkin muistaa, ettei janakaavio sovellu projektin yksityiskohtaisiin aikatauluihin, koska siitä puuttuvat riippuvuudet ja pelivarat. Lisäksi hän huomauttaa, että janakaavio menettää havainnollisuutensa tehtävämäärän noustessa yli sadan kappaleen. Maylor (2001) toteaa janakaavio olevan projektipäälliköiden käytetyin työkalu. Hänen mukaansa janakaavio on hyödyllinen työkalu suunnitelmien aikatiedon esittämiseen. Myös Wilson (2003) katsoo janakaavioiden olevan tehokas tapa esittää tärkeää informaatiota projektiin liittyen. Kuvassa 14 on esitetty esimerkki janakaaviosta.



Kuva 14 Esimerkki janakaaviosta (Lester, 2003, p. 119)

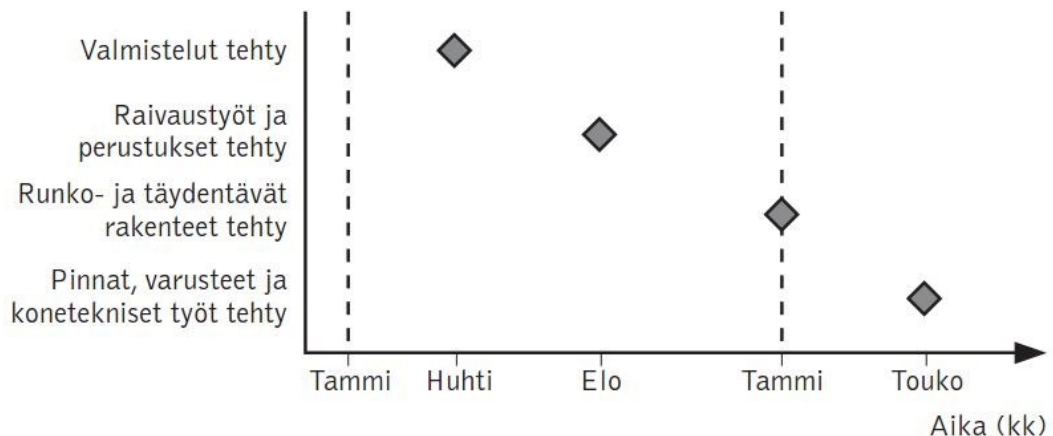
Janakaaviossa tehtävät esitetään suorakaiteen muotoisina janoina tai pylväinä, jotka ovat sijoitettuna aika-akselille (Pelin, 1990, pp. 114-115; Artto, et al., 2008, pp. 123-125). Kuvasta 14 voidaan nähdä, kuinka aika-akseli sijaitsee vaaka-akselilla ja tehtävät on sijoitettuna pystyakselille. Kuvassa kriittistä polkua kuvaavat tummat janat ja harmaat janat ovat tehtäviä, joilla on pelivaraa. Pelivaraa kuvassa kuvaa valkoisten tehtävien perään sijoitetut viivat. Tällaista janakaaviota kutsutaan loogiseksi janakaavioksi (Pelin, 1990, pp. 114-115).

Artto, et al (2008, pp. 123-125) mukaan on tärkeää, että tehtävät ovat määritelty korkeintaan muutaman viikon kokoisille aikajaksoille. He katsovat, että pidempiä tehtävän kestoja on vaikeampi pitää hallinnassa ja lyhyempiä puolestaan on raskaampi seurata ja hallita. Janakaavio on parhaimmillaan pääaikatauluissa, johdon yhteenvedoissa ja tilanneraporteissa, kun tehtävillä on runsaasti limityksiä ja mikäli tehtävillä ei ole loogisia riippuvuuksia (Pelin, 1990, pp. 114-115).

Projekteissa, joissa tehtävien määrä kasvaa suureksi, on syytä miettiä janakaavioiden pilkkomista. Tällöin projektista kannattaa tunnistaa mahdolliset virstanpylväät. Artto, et al. (2008, pp. 125) määrittelevät virstanpylvään tapahtumaksi tai tilaksi, joka liittyy projektin tavoitteisiin ja näin ollen se on merkityksellinen projektin kannalta. Lester (2003,



pp. 120) määrittelee virstanpylvään tietyn vaiheen tai tason aluksi tai lopuksi, jota käytetään projektin tilan valvomiseen. Kuvassa 15 on esitetty esimerkki virstanpylväskaaviosta. Kuvasta voidaan huomata, kuinka virstanpylväät kuvaavat kuvassa esitetyn talon rakennusprojektin tärkeimpiä kohtia.



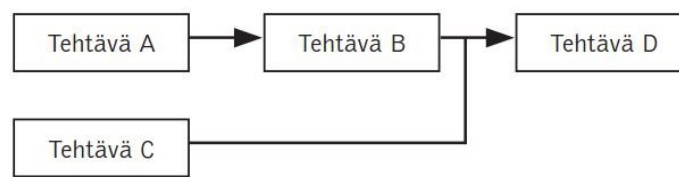
Kuva 15 Virstanpylväskaavio (Artto, et al., 2008, p. 126)

Artto, et al. (2008, pp.126) mukaan virstanpylväiden tulee olla ymmärrettäviä, ohjattavia, päätösten kannalta oleellisia, loogisia ja strategisten päämäärien kannalta samalla tasolla. Virstanpylväitä käytetään yleisesti kynnyspisteenä esimerkiksi tärkeän tiedon, lupien tai laitetoimitusten aikarajana (Lester, 2003, p. 120). Laivanrakennusteollisuudessa tyypillisiä virstanpylväitä ovat pääkoneiden käynnistys, vesillelasku ja luovutus.

## 2.6 Kriittinen polku

Aikataulun suunnittelussa voidaan hyödyntää erilaisia työkaluja, joista suosituimmat ovat kriittisen polun menetelmä (CPM, Critical Path Method) ja PERT (Program Evaluation and Review Technique) (Artto, et al., 2008, pp. 131-136; Jun-yan, 2012). On myös olemassa lukuisia muita samankaltaisia työkaluja, kuten esimerkiksi PNET (Probabilistic network evaluation technique), NRB (Narrow reliability bounds), CCS (Critical chain scheduling) ja MCS (Monte carlo simulation). Nämä erilaiset työkalut, mukaan lukien PERT, ovat paranneltuja versioita CPM:stä, jotka pyrkivät paremmin ottamaan huomioon epävarmuustekijöitä erilaisia riskitekijöitä määrittelemällä (Jun-yan, 2012).

CPM- ja PERT-tekniikoita voidaan myös kuvata toimintaverkkomenetelmiksi, joiden avulla on mahdollista selvittää tehtävien välisiä riippuvuuksia, niiden kriittisyydet ja pelivarat (Pelin, 1990, pp. 112-115). Toimintaverkkomenetelmät ovat tehokkaita työkaluja monimutkaisten projektien suunnitteluun, joista CPM ja PERT ovat yleisimmin käytettyjä (Chang, et al., 1995). Molempien päämääränä on muodostaa tehtäväverkko, josta voidaan nähdä tehtävien väliset riippuvuudet ja kriittinen polku. Artto, et al. (2008, pp. 131) määrittelevät tehtäväverkon tehtävien ja niiden keskinäisten riippuvuuksien graafiseksi esitystavaksi. Kuvassa 16 on esimerkki tehtäväverkon esitystavasta.



**Kuva 16 Tehtäväverkon esitystapa (Artto, et al., 2008, p. 132)**

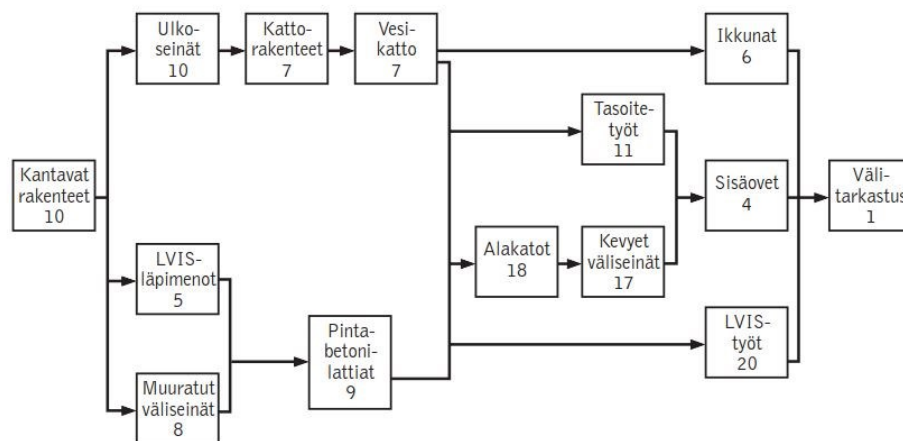
CPM ja PERT eroavat toisistaan sillä, että PERT soveltaa tilastollista laskentaa (Artto, et al., 2008, pp. 131-136). Tämän takia PERT pystyy sisällyttämään epävarmuutta tehtävien kestoon rajoitetulla tavalla arvioimalla valmistumisajan varianssia (Jun-yan, 2012). Lisäksi on syytä ottaa huomioon, että AHS:n käyttämä toiminnanohjausjärjestelmä tukee molempien käyttöä.

CPM ja PERT vaativat molemmat tarkan arvion tehtävän kestolle (Chang, et al., 1995). Chang, et al. (1995) nostavat myös esiin ongelman siitä, kuinka tarkan arvion määrittelemisen kestolle voi olla vaikeaa tosielämässä. CPM:n ja PERTin oleellisin ero on tilastollisessa laskennassa. CPM perustuu siihen, että tehtävän kestolle annetaan yksi arvio, kun taas PERTissä tehtävän kesto lasketaan kolmen kestoarvion avulla (Lester, 2003, p. 159). Kaavassa 1 on Lesterin (2003, pp.159) esittämä tehtävän keston arviointiin käyttämä PERT mallin mukainen laskentakaava, jossa  $a$  on keston optimistinen arvio,  $b$  on keston pessimistinen arvio,  $m$  on todennäköisen kesto ja  $t_e$  on odotettu kesto.

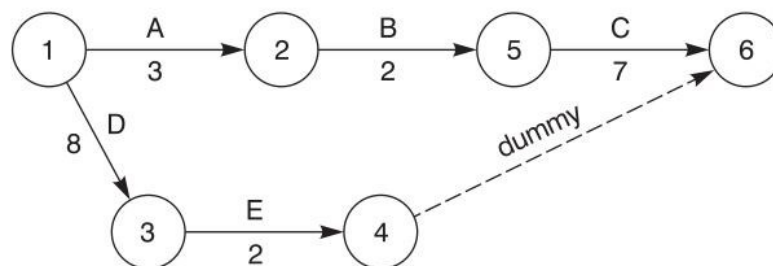
$$t_e = \frac{a + 4m + b}{6} \quad (1)$$

Kriittisen polun esittämiseen on syytä valikoida selkeä ja helppolukuinen esitystapa. Tällaisia tapoja ovat Activity-on-node (AoN) ja Activity-on-arrow (AoA) -tyyppiset

kuvaustavat. Artto, et al., (2008, pp. 131) mukaan tehtäväverkkojen nykyaikainen esitystapa on AoN-kuvaustapa. Pelin (1990, pp.115) kutsuu AoN-kuvaustapaa lohko-verkkomenetelmäksi. Lohko-verkkomenetelmässä tehtäviä kuvataan suorakaateen muotoisilla laatikoilla ja riippuvaisuuksia nuolilla (Pelin, 1990, pp. 115-119; Artto, et al., 2008, p. 131). On olemassa myös nuoliverkkomenetelmä (AoA), jossa tehtäviä kuvataan nuolilla ja ne erotellaan toisistaan ympyrällä (Pelin, 1990, pp. 115-119; Lester, 2003, pp. 65-80; Artto, et al., 2008, p. 131). Kuvassa 17 on esitetty lohko-verkkomenetelmän mukainen kuvaustapa ja kuvassa 18 on esitetty nuoliverkkomenetelmän mukainen kuvaustapa.



Kuva 17 Lohko-verkkomenetelmä (Artto, et al., 2008, p. 136)

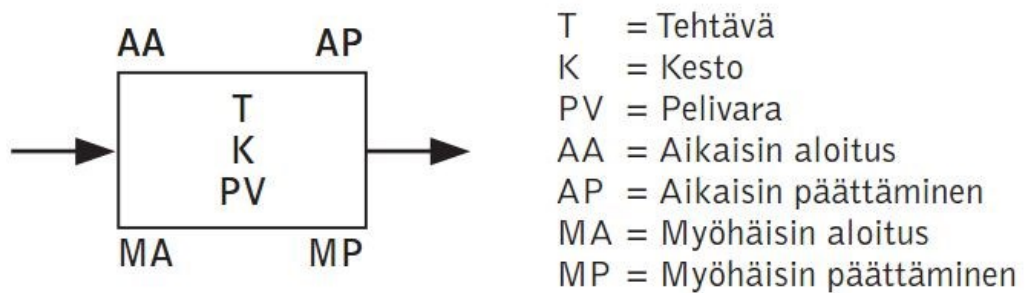


Kuva 18 Nuoliverkkomenetelmä (Lester, 2003, p. 71)

Lester (2003, pp.81) mukaan lohko-verkkomenetelmällä luodut tehtäväverkot ovat parempia, koska niissä ei tarvita ”dummy”-tehtäviä (vatehtävä) ja päällekkäiset tehtävät voidaan esittää yksinkertaisesti ilman vatehtäviä. Lisäksi hänen mukaansa jokainen tehtävä lohko-verkkomenetelmässä on numeroitu yksittäisellä numerolla ja lohko-verkkomenetelmällä luodut tehtäväverkot on helposti luettavissa ihmisillä, jotka ovat tottuneet käsittelemään vuokaavioita. Artto, et al. (2008, pp. 131) mukaan lohko-verkkomenetelmällä luodut tehtäväverkot soveltuvat hyvin monimutkaisiin tehtäväverkkokuvauksiin. Tässä

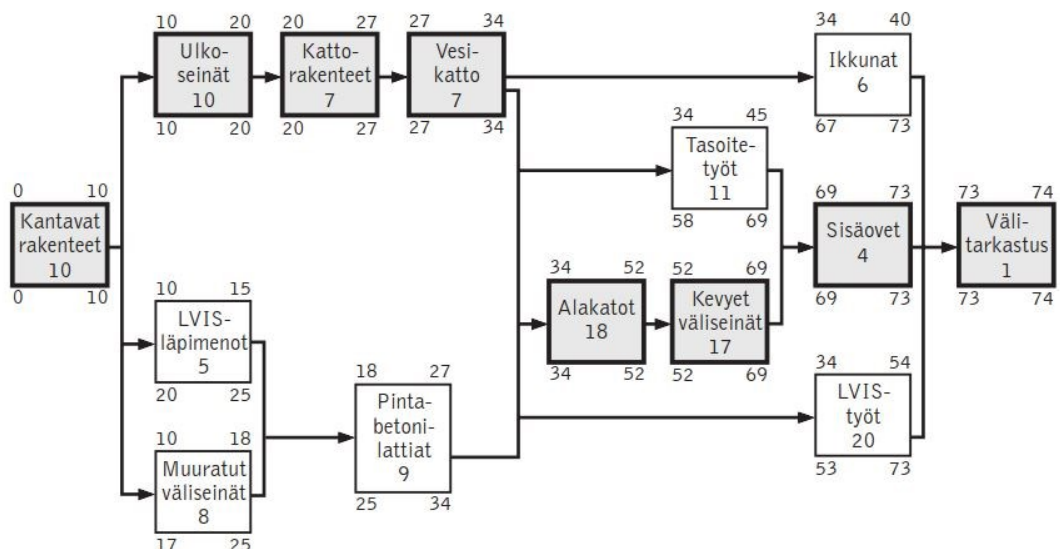
työssä lohko-verkkomenetelmä on selkeämpi kuvaustapa, koska kyseessä on monimutkainen projekti ja malliaikataulun tulisi olla mahdollisimman yksinkertaisessa muodossa.

Kriittisen polun määrittämiseksi lohko-verkkomenetelmän avulla täytyy tehtävien kestoa lisäksi määritellä tehtäville sekä aikaisin että myöhäisin aloitus ja lopetus. Kuvassa 19 on esitetty yksittäinen lohko tehtäväverkosta. Kuvassa on esitetty tehtäväverkon tehtävään kirjattavat tiedot.



Kuva 19 Tehtäväverkon tehtävään kirjattavat tiedot (Artto, et al., 2008, p. 134)

Kuvassa 20 on esitetty valmis lohko-verkkomenetelmän avulla luotu tehtäväverkko, josta selviää myös projektin kriittinen polku. Kuvassa esitetty kriittinen polku muodostuu tummennetuista lohkoista. Kuvassa 20 on jokaiseen lohkoon merkitty kuvan 19 kaltaisesti tehtävän kesto sekä aikaisin että myöhäisin aloitus ja lopetus.



Kuva 20 Valmis tehtäväverkko (Artto, et al., 2008, p. 138)

Tehtäväverkon luominen alkaa tehtävien ja niiden kestojen ja riippuvuuksien määrittelemisestä. Tämän jälkeen määritellään tehtävien aikaisin aloitus ja päättäminen, minkä jälkeen määritellään myöhäisin päättäminen ja aloitus. Aikaisin aloitus ja päättäminen lasketaan alusta loppuun ja myöhäisin aloitus ja päättäminen lasketaan lopusta alkuun. Kun aikaisimmat sekä myöhäisimmät aloitukset ja päättämiset on saatu selville, lasketaan tehtäville pelivara. Se lasketaan vähentämällä myöhäisimmästä lopetuksesta aikaisin lopetus. Kriittisen polun tehtävissä pelivara on nolla. Näin saadaan tehtäväverkosta tunnistettua kriittinen polku. (Artto, et al., 2008, pp. 134-136) Kuten kuvasta 20 voidaan huomata, kriittisen polun tehtävien aikaisin ja myöhäisin lopetus on sama.

### 3 Laivaprojektien toiminnanohjauksen nykytilanne

Laivanrakennusteollisuuden projektit ovat kertaluontoisia, tilaustyönä tehtyjä toimitusprojekteja. Tällaisten projektien tunnusmerkkejä ovat esimerkiksi suuri kustomointi, muutettava toiminnanohjaus, suuret laatuvaatimukset, resurssien optimoitu hyödyntäminen, nopeat toimitukset ja asiakkaan jatkuva vaikutus tuotantoprosessin aikana. Laivat eivät kuitenkaan perussuunnittelun osalta eroa kovinkaan paljon, vaan niistä löytyy runsaasti yhtäläisyyksiä. Erot syntyvät asiakkaalle räätälöityjen ratkaisujen muodossa. (Tu, 1997; Braglia, et al., 2014)

Päähaasteet laivanrakennusteollisuuden projekteissa ovat toiminnanohjaus, organisointi ja kymmenien tuhansien eri tehtävien toteuttaminen, jotka lopulta johtavat laivan valmistumiseen. Toiminnanohjauksen haasteen on todettu johtuvan varustelutyön suunnittelusta ja sen implementoinnin vaikeudesta. Varustelutyö voi olla jopa 80 prosenttia koko laivaan käytetystä työstä risteilijäaluksissa. (Braglia, et al., 2014) Työaluksissa varustelutyö on noin 65 prosenttia koko laivaan käytetyistä tunneista (Havas, 2014).

Päähaasteiden lisäksi laivanrakennusteollisuuden projektit ovat monimutkaisia. Tämän takia laivaprojektien työntekijöiden, resurssien ja tilojen suunnittelu ja hallinta on erittäin haastava tehtävä. Aikataulut epäonnistuvat myös niiden monimutkaisuuden takia. Aikataulujen epäonnistuminen johtaa siihen, että työntekijät joutuvat odottamaan edeltäviä asennustehtäviä. Odottamisen seurauksena työkuormitus voi vaihdella, joka saattaa johtaa ylitöihin ja pahimmallaan jopa aiheuttaa koko projektin myöhästymisen. (Lee, et al., 1997)

Laivan varustelun suunnitleminen ja kontrollointi on haasteellista. Kustannustehokkaasti ja ajallisesti ideaalisin ratkaisu on suorittaa varustelu mahdollisimman aikaisessa vaiheessa. (Dong, et al., 2013) Varusteluprosessi on laivanrakennuksen vaativin osa, sillä laivan monimutkaisten järjestelmien takia varusteltavaa laivassa on tyypillisesti yli 50000 eri osan verran (Wei, et al., 2010).

Tällä hetkellä laivan varusteluprosessia ei ole aikataulutettu yksityiskohtaisesti telakoilla, sillä se vaatii paljon vaivannäköä vaikeaselkoisuutensa takia. Sen sijaan että telakat pyrkivät aikatauluttamaan varusteluprosessinsa luottamalla työntekijöidensä ja alihankki-

joidensa kokemukseen. Tämä muodostaa ongelman, sillä työntekijöiden ja alihankkijoiden vuosien varrella keräämä kokemus voidaan menettää esimerkiksi eläköitymisen tai irtisanoutumisen myötä. Arvokkaan kokemuksen menettämisen takia telakoiden tulisi pyrkiä kehittämään automaattisia prosesseja varustelun aikatauluttamiselle. (Wei, et al., 2010)

Varustelun aikatauluttamisen nykytilanteen selvittäminen laivanrakennuksessa on osoittautunut haasteelliseksi. Tämä johtuu siitä, että laivan varusteluun liittyvää tutkimusta on tehty erittäin vähän (Dong, et al., 2013; Wei, et al., 2010). Tästä huolimatta Wei, et al. (2010) ovat onnistuneet tarjoamaan kaksi erilaista ratkaisua varustelun aikatauluttamiseksi: analyyttisen ylhäältä alaspäin etenevän lähestymistavan ja matemaattisen alhaalta ylöspäin etenevän lähestymistavan. Analyyttinen menetelmän on geneerinen mutta se auttaa selvittämään työtehtävien riippuvuussuhteita ja näin ollen toimii hyvänä pohjana matemaattiselle menetelmälle.

Wei, et al. (2010) kehottavat analyyttisessä menetelmässä jakamaan työtehtävät sopivan kokoisiksi paketeiksi siten, että tehtävien riippuvuussuhteet pysyvät selkeinä, mutta samalla sen kokoisina että niitä voidaan soveltaa useampaan laivatyyppiin. He ovat jakaneet tehtävät julkaisussaan viiteen ryhmään: mekaaniseen, sähköiseen, putkistoihin, eristykseen ja maalaukseen. Jokainen ryhmä sisältää seuraavanlaisen sisäisen jaottelun:

- mekaaninen: ison laitteen asennus, pienen laitteen asennus, pumppujen asennus ja käyttöönotto
- sähköinen: kaapeliratojen asennus, kaapelien veto, sähkötaulujen asennus, laitteiden kytkentä ja käyttöönotto
- putkistot: putkien kannakkeiden asennus, putkien sovitus, putkien asennus ja tiiveyden testaus
- eristys: eristys ja eristyksen loppuunvienti
- maalaus: pohjamaali, maalaus ja viimeistely

Jaottelun lisäksi tulee myös pohtia, miksi ja miten eri tehtävät ovat riippuvaisia toisistaan. Riippuvuuksia selvitetessä pyritään saamaan käsitys siitä kuinka vahvasti tehtävät ovat riippuvaisia toisistaan. Tämän tarkoituksena on selvittää, kuinka paljon edellisen tehtävän

myöhästyminen vaikuttaa seuraavaan tehtävään. Jaottelun ja riippuvuuksien avulla voidaan tehtäville muodostaa tehtäväverkko, johon kestot lisäämällä saadaan luotua aikataulu. (Wei, et al., 2010)

Wei, et al. (2010) luoma matemaattinen menetelmä on huomattavasti monimutkaisempi lähestymistapa varustelun aikatauluttamiseen. Siinä otetaan huomioon useita eri rajoittavia tekijöitä tehtäville, kuten materiaalit, paino, koko ja tuottavuus. Matemaattisen menetelmän soveltamiseksi tarvitaan erillinen tietokoneohjelma, mistä johtuen matemaattisen menetelmän soveltaminen tässä tutkimuksessa ei ole varteen otettava vaihtoehto.

### ***3.1 Helsingin telakan toiminnanohjausmalli varustelussa***

AHS:n käyttämää konevarustelun toiminnanohjausmallia voidaan kuvata sumeaksi. Valmiusasteen seuranta toiminnanohjausmallissa perustuu työnjohtajien ja työnsuunnittelijoiden arvioihin, joita seurataan toiminnanohjausjärjestelmällä. Tehtävien suuren koon vuoksi kokonaisuuden arvioiminen on haastavaa. Suurien tehtävien sijaan tarvittaisiin helpommin seurattavia osakokonaisuuksia, sillä todellisen valmiuden seuraaminen nykyisellä toiminnanohjausmallilla on erittäin vaikeaa. Tästä johtuen myös tilaajaa kiinnostaa todellinen valmius. (Havas, 2014)

Toinen asia, jota seurataan todellisen valmiuden lisäksi, ovat kulutetut tunnit. Niiden avulla saadaan seurattua sitä, kuinka hyvin suunnitellut tunnit toteutuvat. Toisin kuin todellinen valmius, kulutetut tunnit eivät kerro todellista edistymää. Jos esimerkiksi jonkin tehtävän kestoksi on määritelty 1000 tuntia ja siitä on tehty 500 tuntia, niin kulutettujen tuntien mukaan se olisi 50 % valmis. Todellisuudessa tämä ei välttämättä pidä paikkaansa, sillä tehtävän todellinen tuntimäärä voi olla suurempi kuin mitä on määritelty. Näin ollen tehtävän todellinen valmius on alle 50 %. (Havas, 2014)

Todellisen valmiuden kehittymistä pyritään seuraamaan käyttämällä rakennusaikatauluja ja valmiusasteen raportointia. AHS pyrkii saamaan rakennusaikataulut valmiiksi ennen runkotuotannon alkamista valmistussuunnittelun aikana. Aikataulujen luominen perustuu toiminnansuunnittelijoiden kokemuksiin ja edellisistä laivaprojekteista kerättyihin tietoihin. AHS käyttää varusteluaikatauluissa alueaikataulutusta, jossa aikataulut on jaettu aluekohtaisiin kokonaisuuksiin. Esimerkiksi pääkonehuone muodostaa oman alueensa. Alueiden lukumäärä vaihtelee laivakohtaisesti, mutta pienessäkin jäänmurtajassa voi olla



yli 30 eri aluetta. Alueet toimivat myös rakennus- ja aikataulukokonaisuuksina, joiden avulla materiaalit ohjataan oikeaan paikkaan oikeaan aikaan. (Havas, 2014)

Alueaikatauluissa ongelmaksi muodostuu niiden raskas rakenne. Alueaikataulut ovat erittäin työläitä tehdä, koska niiden luominen vaatii paljon manuaalista työtä. Tämän lisäksi ongelman muodostaa loogisen työjärjestyksen puuttuminen. Tällä hetkellä konetornin alueilla ei esimerkiksi tiedetä, missä järjestyksessä mikäkin tehtävä pitäisi toteuttaa toisiinsa nähden. Monet työtehtävät ovat niputettuina isoihin kokonaisuuksiin, mikä vaikeuttaa tehtävien todellisen valmiuden seuraamista. Yhden tehtävän alla saattaa olla jonkin tietyn alueen kaikki putki-, turkki-, alusta- ja levyasennukset. (Holopainen, 2014)

Tehtävien valmiuden raportointi on aluetyönjohtajien vastuulla. Koska tehtävät ovat niputettuina isoihin kokonaisuuksiin, myös raportointi vaikeutuu. Työnjohtajien raportointi tapahtuu tällä hetkellä arvioimalla valmiusprosenttia. Arviointi perustuu täysin työnjohtajien kokemukseen ja käytettyihin tunteihin. Kuten jo aiemmin todettiin, todellisen valmiuden seuraaminen arviointiin perustuen on erittäin haastavaa. Todellisen valmiuden seuraamisen vaikeuden lisäksi suuret kokonaisuudet tuovat ylimääräistä työtaakkaa työnjohtajille, koska he joutuvat raportoimaan usein kyseistä tehtävää. (Holopainen, 2014)

### **MCR-toiminnanohjausmalli**

Koska AHS tekee nykyisin paljon yhteistyötä venäläisten yritysten kanssa, on venäläisten käyttämä MCR (Mechanical Completion Report) -toiminnanohjausmalli tullut osaksi erästä laivaprojektia AHS:llä. MCR:ien osakokonaisuudet ovat Venäjän valtion määrittelemiä. MCR:ien tapauksessa hallittavat osakokonaisuudet on pilkottu erittäin pieniksi paloiksi, minkä seurauksena MCR:iä on lähes 1500 kappaletta. Tämän vuoksi niiden seuranta ja arviointi on erittäin työlästä. Nämä osakokonaisuudet perustuvat pääsääntöisesti fyysisiin asennuksiin, kuten konepetien tai laitteiden asennuksiin. (Myllylä, 2014)

Kuvassa 21 on esitetty esimerkki MCR-osakokonaisuuksista konevarustelussa. Vaikka suurin osa pilkotuista tehtävistä on erittäin pieniä ja selkeitä osakokonaisuuksia, kuuluu MCR:iin myös suuria ja hyvin epäselviä tehtäviä. Nämä suuret ja epäselvät tehtävät vaikeuttavat olevan tehtäviä, jotka nitovat yhteen pienemmistä tehtävistä unohtuneita asioita. (Myllylä, 2014)



**Kuva 21 Esimerkki MCR työtehtävistä konevarustelussa (Arcotech Helsinki Shipyard Oy, 2015)**

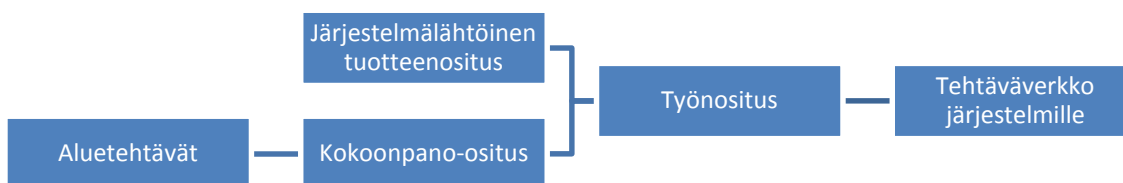
Osakokonaisuudet eivät kuitenkaan sisällä laitteiden tai järjestelmien koekäyttöä, vaan ainoastaan runko- ja varustelutöihin liittyviä tehtäviä. Koekäyttöille venäläiset ovat erikseen kehittäneet oman DTR-mallinsa. DTR (Dock Trial Report) eli laiturikoeraportointi tehdään vasta MCR -raporttien ollessa hyväksytysti suljettuja. MCR:ien runsaus aiheuttaa paljon seurattavaa ja hallinnoitavaa, mikä puolestaan johtaa suureen määrään paperityötä. Tämä paperityö aiheuttaa turhaa lisätyötä ja näin ollen myös lisäkustannuksia. (Myllylä, 2014)

### **AHS- ja MCR -toiminnanohjausmallien erot**

AHS:n toiminnanohjausmallin hyvänä puolena voidaan pitää sen yksinkertaisuutta. Siinä on selkeästi pyritty pilkkomaan tehtävät helposti hallittaviin kokonaisuuksiin. Liiallisen yksinkertaistamisen seurauksena tehtävistä on kuitenkin tullut liian suuria ja valmiusasteen seuraamisen kannalta vaikeasti arvioitavia. MCR-toiminnanohjausmallin hyväksi puoleksi voidaan todeta sen tehtävien selkeys. Tehtävät on pilkottu pieniksi paloiksi ja näin ollen ne ovat selkeämpiä ja helpommin seurattavia. Osa MCR:ien tehtävistä on kuitenkin erittäin epäselviä ja suuria kokonaisuuksia. Molempia malleja yhdistää tehtävien loogisten riippuvuuksien puuttuminen.

## 4 Menetelmä konetornin konevarustelun tehostamiseksi

Tässä kappaleessa esitetään menetelmä malliaikataulun luomiseksi konetornin konevarustelulle. Menetelmä koostuu kahdesta osuudesta: työn osittamisesta ja tehtäväverkon luomisesta. Riippuvuussuhteet menetelmässä selvitetään hyödyntäen projektin työnositamista. Työnositus koostuu tuotteen- ja kokoonpano-osituksista, sekä aluetehtävien määrittelemisestä. Menetelmällä tuotetaan lohkokoverkkomenetelmän mukainen tehtäväverkko konetornin konevarustelun järjestelmille. Kuvassa 22 on esitetty menetelmän vaiheet.



Kuva 22 Menetelmän vaiheet

### 4.1 Järjestelmäpohjainen aikataulu

Koska laivat suunnitellaan ja käyttöönotetaan järjestelmittäin, on syytä ottaa huomioon järjestelmät aikatauluissa. Tällä hetkellä aluerakentamiseen AHS:llä käytettävät alueaikataulut ottavat huomioon ainoastaan alueiden edistymisen. Tämän seurauksena järjestelmien valmistumista on haasteellista seurata, mikä tekee esimerkiksi järjestelmien käyttöönottamisesta vaikeaa. Tämän takia on syytä pohtia järjestelmäpohjaisten aikataulujen käyttämistä.

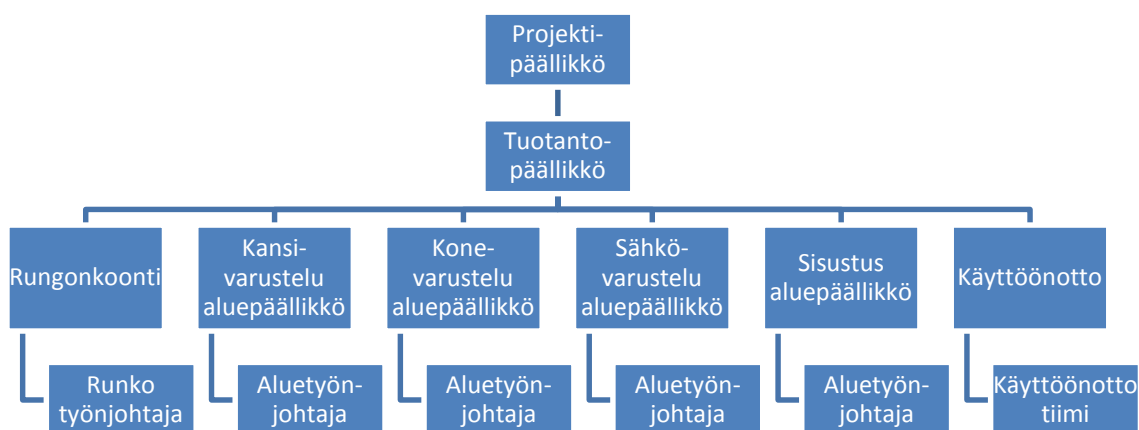
Alueaikataulut suurine tehtävineen eivät kerro eri järjestelmien edistymistä kyseisellä alueella. Kuvassa 23 on esitetty esimerkki AHS:n käyttämisestä aluetehtävistä. Kuvassa oleva putkistotehtävä kyseisellä alueella on suuruudeltaan noin 5000 tuntia, mikä vastaa noin 20 viikon työmäärää alueella. Lisäksi on otettava huomioon, että kyseiseen putkistotehtävään kuuluu kaikkien alueella olevien järjestelmien putkityöt. Tällaisen tehtävän edistymisen seuranta muodostuu ongelmaksi, sillä aluetyönjohtajan on erittäin vaikea arvioida kyseisen tehtävän edistymistä. Hyvä kesto tehtävälle tulisi olla noin 3-4 viikkoa,

jolloin se olisi suuruudeltaan sellainen, että aluetyönjohtajan olisi helpompi ymmärtää sen laajuus.



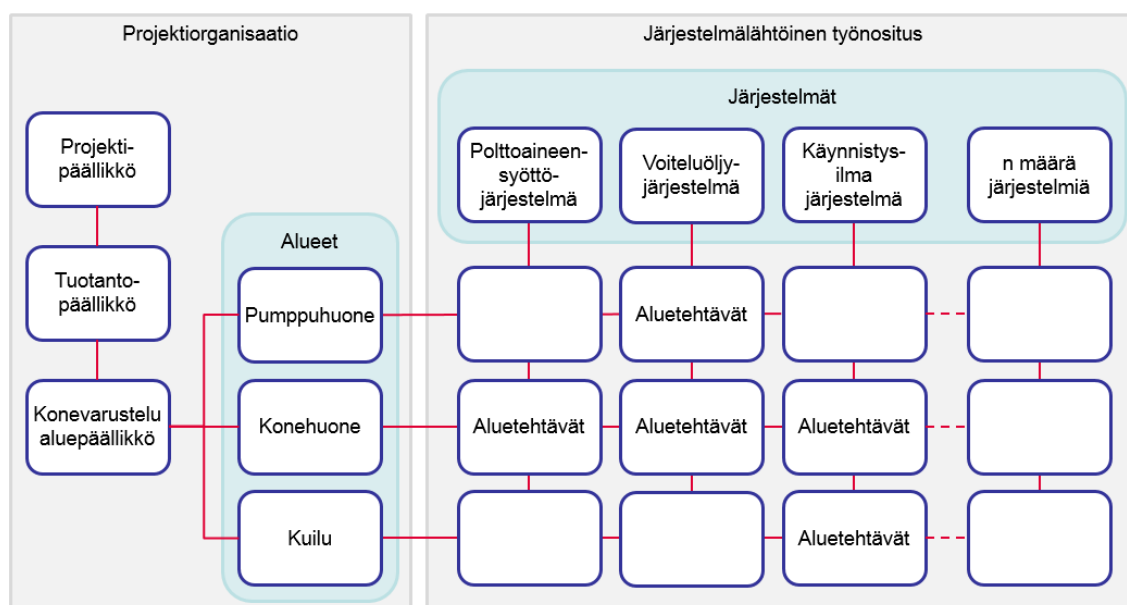
Kuva 23 Esimerkki AHS:n käyttämisestä konehuoneen aluetehtävistä

Järjestelmäpohjaisten aikataulujen käyttöä pohdittaessa on syytä ottaa huomioon sen sopeutuvuus AHS:n projektioorganisaation rakenteeseen, sillä työolosuhteissa tulisi ottaa huomioon olemassa oleva organisaatio-olosuhteet. Kuvassa 24 on esitetty AHS:n projektioorganisaation rakenne. Kuvasta voidaan havaita, että AHS:n projektioorganisaatio on rakentunut aluerakentamisen mukaisesti.



Kuva 24 AHS projektioorganisaation rakenne (Arctech Helsinki Shipyard Oy, 2015)

Projektioorganisaation rakenteesta voidaan huomata, että järjestelmäpohjaisen aikataulun tulee toimia yhdessä aluerakentamisen tavan kanssa, sillä silloin ei olisi tarvetta muuttaa projektioorganisaation rakennetta eikä myöskään telakan rakennustapaa. Ratkaisuksi tähän kuvassa 25 on esitetty matriisi, jonka avulla järjestelmäpohjaisessa aikataulussa otetaan huomioon myös aluerakentamisen tapa. Järjestelmien työtehtävät on jaettu alueittain, jolloin voidaan käyttää järjestelmäaikataulujen ohella myös alueaikatauluja.



Kuva 25 Matriisi, jossa nähdään alueiden ja järjestelmien suhteet toisiinsa

Koska järjestelmäpohjaisessa aikataulussa työtehtävät voidaan jakaa alueiden mukaan, helpottaa se aluerakentamista pilkkomalla alueaikataulujen työtehtäviä helpommin hallittaviin pienempiin tehtäviin. Esimerkiksi 20 viikon kokoinen putkistotehtävä pilkotaan järjestelmien mukaisesti pienempiin järjestelmäkohtaisiin putkistotehtäviin. Näin tehtävien kestot saadaan 3-4 viikon kokoisiksi, helpommin hallittaviksi osiksi.

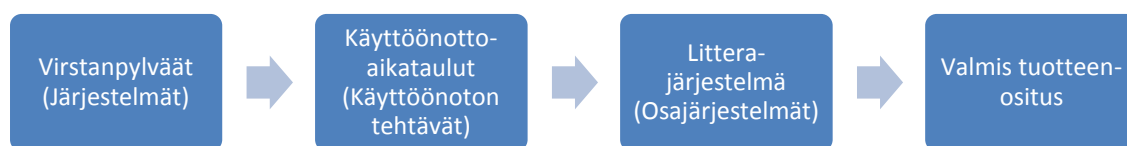
Hyötynä alueaikatauluttamiseen verrattuna järjestelmäpohjaisilla aikatauluilla voidaan ottaa huomioon yksittäisen järjestelmän edistyminen ja parantaa näin ennustettavuutta. Esimerkiksi järjestelmän käyttöönottona helpottuu, sillä järjestelmäaikataululla tiedetään koska järjestelmään liittyvät työtehtävät on suoritettu.

## 4.2 Järjestelmälähtöinen tuotteenositus

Järjestelmälähtöinen tuotteenositus valittiin osaksi menetelmää, koska sen avulla pystytään selvittämään konetornin konevarustelun eri järjestelmien riippuvuussuhteet. Tuotteenositukseen olisi voitu hyödyntää muita osituskriteerejä, mutta järjestelmäaikataulujen luomiseksi on syytä keskittyä järjestelmälähtöiseen ositukseen.

Riippuvuuksien selvittäminen tässä työvaiheessa alkaa AHS:n omia virstanpylväitä, litterajärjestelmää ja tuotteenosittamista hyödyntämällä, jolloin saadaan luotua järjestelmä-lähtöinen tuotteenositus. Virstanpylväiden avulla saadaan selville konetornissa olevien järjestelmien väliset riippuvuudet. Tämän jälkeen järjestelmät pilkotaan pienemmiksi palasiksi AHS:n käyttöönottoaikatauluja hyödyntäen. Käyttöönottoaikataulut ovat järjestelmäpohjaisia ja niiden avulla saadaan selville ne työtehtävät, jotka ovat käyttöönoton edellytyksiä.

Kun käyttöönottoon liittyvät tehtävät on otettu huomioon osituksessa, hyödynnetään järjestelmän pilkkomisessa AHS:n litterajärjestelmää. Litterajärjestelmän avulla saadaan järjestelmä pilkottua osajärjestelmiksi, joihin voidaan liittää myöhemmin määriteltävät työpaketit. Työpaketit liitetään osajärjestelmiin alueiden mukaan. Tämän osittamisen avulla on konetornin konevarustelulle luotu tuotteenositus. Kuvassa 26 on esitetty edellä kuvattu tuotteenositus kokonaisuudessaan.



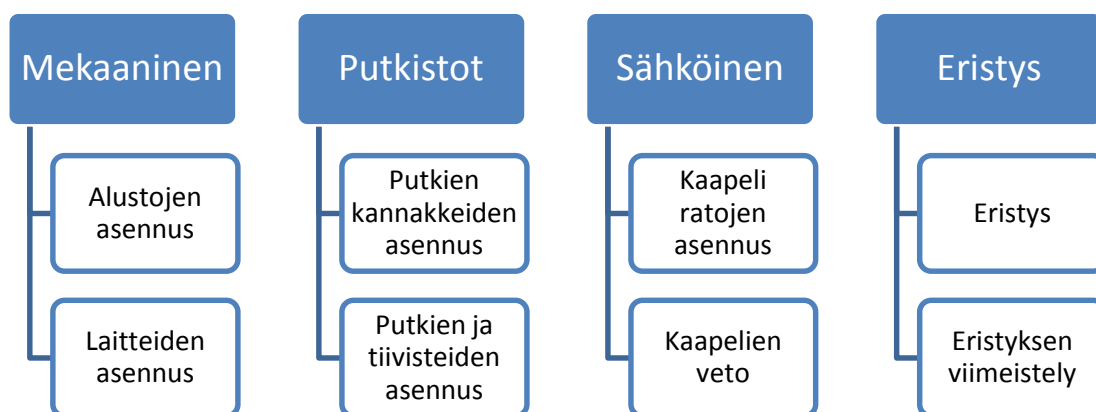
Kuva 26 Tuotteenosituksen luominen

### 4.3 Aluetehtävien määrittely

Kokoonpano-ositukseen liittyy aluetehtävien määritteleminen. Aluetehtävien määrittelemiseen hyödynnetään Wei, et al. (2010) luomaa analyttistä mallia yhdessä MCR-toiminnanohjausmallin kanssa. Wei, et al. (2010) vievät jaottelun hieman pidemmälle kuin MCR-toiminnanohjausmallissa, sillä esimerkiksi putkiston asennus pilkotaan useampaan pienempään palaan. Wei, et al. (2010) jaottelun maalausryhmä jätetään tarkastelun ulkopuolelle, sillä tässä tutkimuksessa keskitytään konetornin konevarusteluun.

Aluetehtäviä määriteltäessä on syytä muistaa, että niiden on oltava kestoiltaan sellaisia että ne ovat selkeitä ja helposti ymmärrettäviä. Yhdistettäessä Wei, et al. (2010) mallia ja MCR-toiminnanohjausmallia on syytä pitää erilaisten aluetehtävien lukumäärä mahdol-

lisimman pienenä. Kuvassa 27 on esitetty mallien yhdistämisen avulla luodut aluetehtävät, jotka on jaettu neljään ryhmään: mekaaninen, sähköinen, putkistot ja eristys. Yhdistämällä nämä aluetehtävät tuotteenositukseen saadaan luotua työnositus konetornin konevarustelulle.



Kuva 27 Työpaketit

#### 4.4 Tehtäväverkon luominen

Tehtäväverkon luomisessa sovelletaan lohkoverkkomenetelmää, sillä se on helppolukuisempi kuin nuoliverkkomenetelmällä luotu tehtäväverkko. Lohkoverkkomenetelmän mukainen tehtäväverkko luodaan laittamalla järjestelmään liittyvät tehtävät omiin laatikoihinsa, joiden välille vedetään viivat kuvaamaan riippuvuussuhteita. Kun tehtäväverkko on luotu, on järjestelmän sisäiset riippuvuussuhteet selkeästi esillä.

Riippuvuussuhteiden lisäksi tehtäväverkosta voidaan nähdä millä alueilla kyseiseen järjestelmään liittyviä tehtäviä on. Lisäksi lohkoverkkomenetelmää hyödyntäen voi helposti tarvittaessa liittää tehtäville niiden kestot. Tämä on kuitenkin rajattu tämän tutkimuksen ulkopuolelle. Tehtäväverkko luodaan vasta, kun tuotteen- ja kokoonpano-ositukset on tehty.

Luomalla tehtäväverkot ja lisäämällä kestot tehtäville saadaan tämän menetelmän avulla selville konetornin konevarustelun kriittinen polku. Vaikka tämän menetelmän lopputuloksena syntyy järjestelmäkohtainen tehtäväverkko, voidaan se tehtävien kestot lisäämällä muuttaa janakaavioksi. Aikataulujen kannalta janakaavio on selkeämpi esitystapa, jota yleisesti käytetään aikataulujen esittämiseen. AHS käyttää myös janakaavioita omien

aikataulujensa esittämiseksi. Janakaavioita hyödyntämällä saadaan selville tehtävien pe-  
livarat ja kriittinen polku.



## 5 Menetelmän sovelluskohteiden valinta

Tässä kappaleessa sovelletaan menetelmää kolmeen esimerkkijärjestelmään: polttoaineensyöttö-, pakoputkisto- ja LT/HT-jäähdytysjärjestelmiin. Nämä valikoitiin esimerkeiksi, koska ne edustavat erilaisia tilanteita. Polttoaineensyöttöjärjestelmä on vain yhdellä alueella, kun taas LT/HT-jäähdytys järjestelmä ulottuu kahdelle eri alueelle. Tällä havainnollistetaan menetelmän soveltuvuutta sekä yhdellä että useammalla alueella oleviin järjestelmiin. Pakoputkisto otettiin esimerkiksi osoittamaan, että menetelmää voidaan soveltaa kaikkiin konetornin alueisiin.

### 5.1 Sovelluskohteiden työnositus

Tällä hetkellä AHS käyttää kuvassa 28 esitettyjä ”kovia pisteitä”, joita jatkossa nimitetään virstanpylväiksi. Nämä virstanpylväät muodostavat tärkeitä käännekohtia laivaprojektin elinkaaren aikana. Vaikka konetornin konealuevarustelu alkaa kölinlaskusta, on tämän tutkimuksen kannalta oleellista keskittyä ainoastaan kattilan ja päädieselien käynnistykseen. Konetornin konevarustelu ei muodostu esteeksi kölin- ja vesillelaskulle, sillä niihin vaikuttaa laivan rungonkoonnin edistyminen. Tästä johtuen ne voidaan rajata tarkastelun ulkopuolelle. Myös propulsioon käynnistys, merikokeet ja laivan luovuttaminen voidaan rajata tarkastelun ulkopuolelle, sillä konetornin konevarustelun tulisi olla pääosin valmista päädieselien käynnistykseen mennessä. (Havas, 2014)



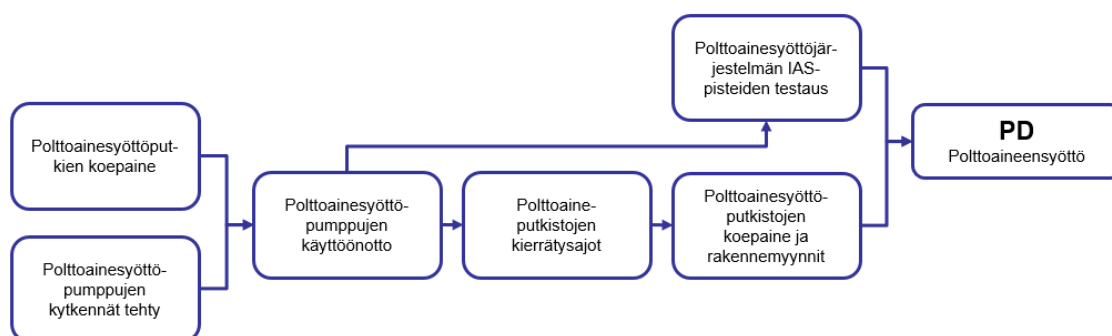
Kuva 28 AHS käyttämät virstanpylväät laivaprojektille (Arctech Helsinki Shipyard Oy, 2015)

Esimerkeiksi valitut järjestelmät kuuluvat päädieselien käynnistyksen (PD) virstanpylvääseen. Kuvassa 29 on esitetty PD virstanpylvään sisäiset virstanpylväät ja luvut niiden perässä kertovat kuinka monelle alueelle ne ulottuvat konetornissa. Nämä sisäiset virstanpylväät ovat järjestelmiä, joiden pitää olla valmiita, jotta voidaan saavuttaa PD virstanpylväs. PD:n sisäinen järjestelmä jaottelu perustuu AHS:n käyttöönottoaikatauluihin, jotka on jaoteltu järjestelmien perusteella.

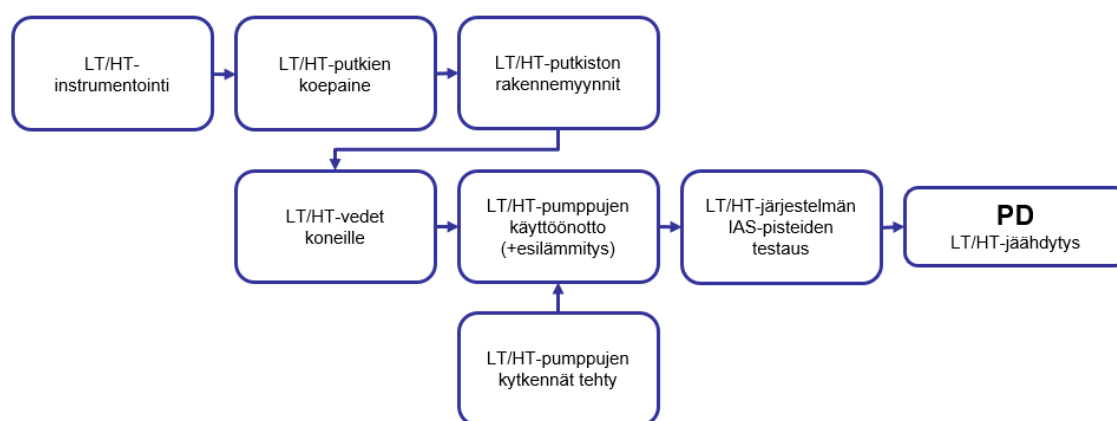


**Kuva 29 Virstanpylväät PD:n sisällä. Numerot kuvassa kertovat, kuinka monelle konetornin alueelle järjestelmä ulottuu (Arctech Helsinki Shipyard Oy, 2015)**

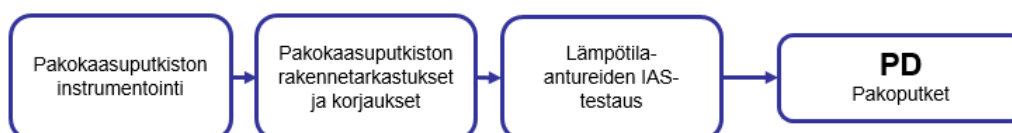
Järjestelmien osittamisessa hyödynnetään myös käyttöönottoaikataulujen sisältämiä käyttöönottoehtäviä. Kuvissa 30, 31 ja 32 on esitetty pakoputkiston, polttoaineensyöttö- ja LT/HT-jäähdytys järjestelmien käyttöönottoaikatauluista luodut lohkonverkkomenetelmän mukaiset tehtäväverkot. Lisäksi käyttöönottoaikataulut sisältävät käyttöönottoon liittyvien työtehtävien välisiä riippuvuuksia. Kuvissa 30, 31 ja 32 olevista käyttöönoton tehtäväverkoista on jätetty tarkastelun ulkopuolelle kestot, tankit ja muiden järjestelmien kytkökset.



**Kuva 30 Polttoaineensyöttöjärjestelmän käyttöönottoaikataulu (Arctech Helsinki Shipyard Oy, 2015)**



**Kuva 31 LT/HT-jäähdytysjärjestelmän käyttöönottoaikataulu (Arctech Helsinki Shipyard Oy, 2015)**

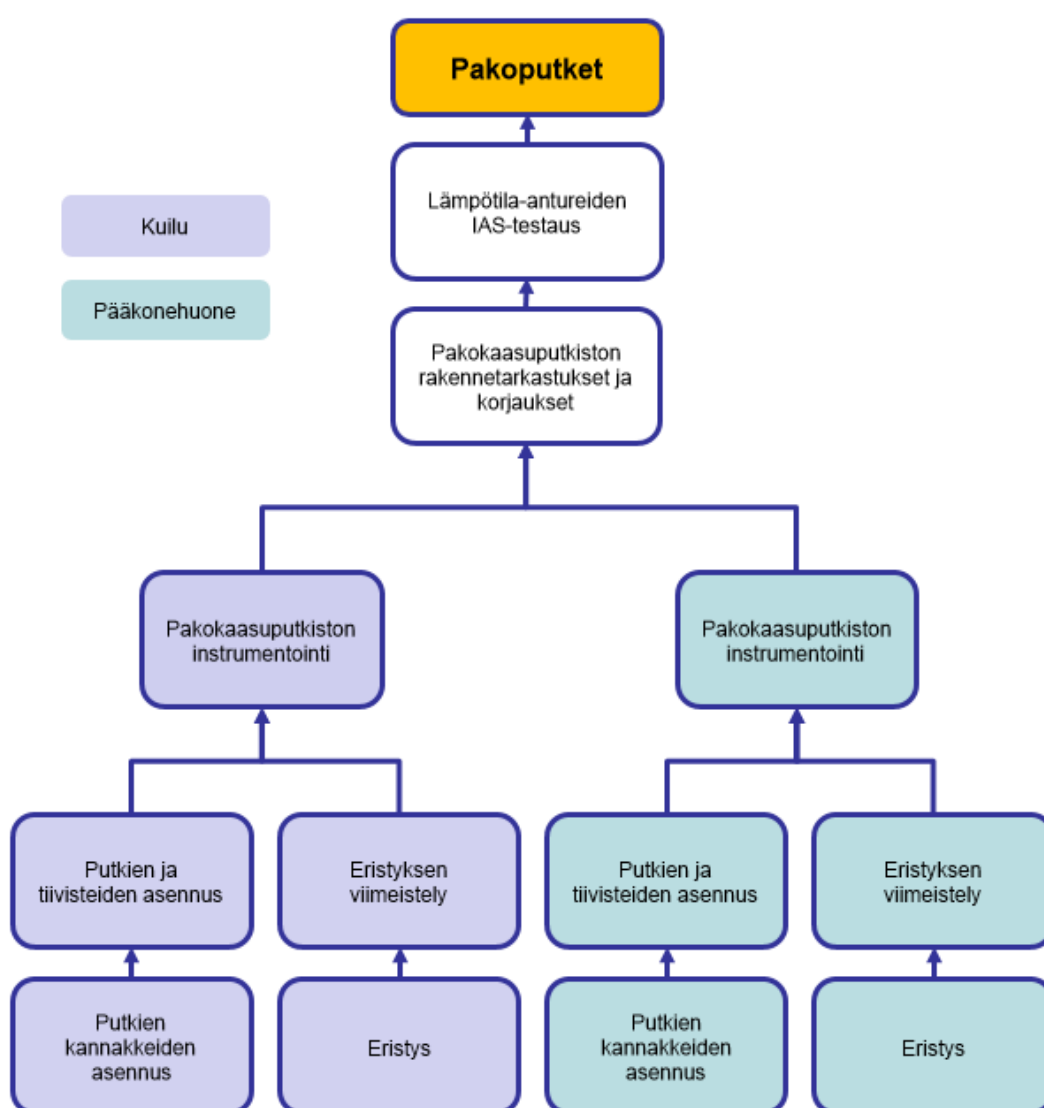


**Kuva 32 Pakoputki järjestelmän käyttöönottoaikataulu (Arctech Helsinki Shipyard Oy, 2015)**

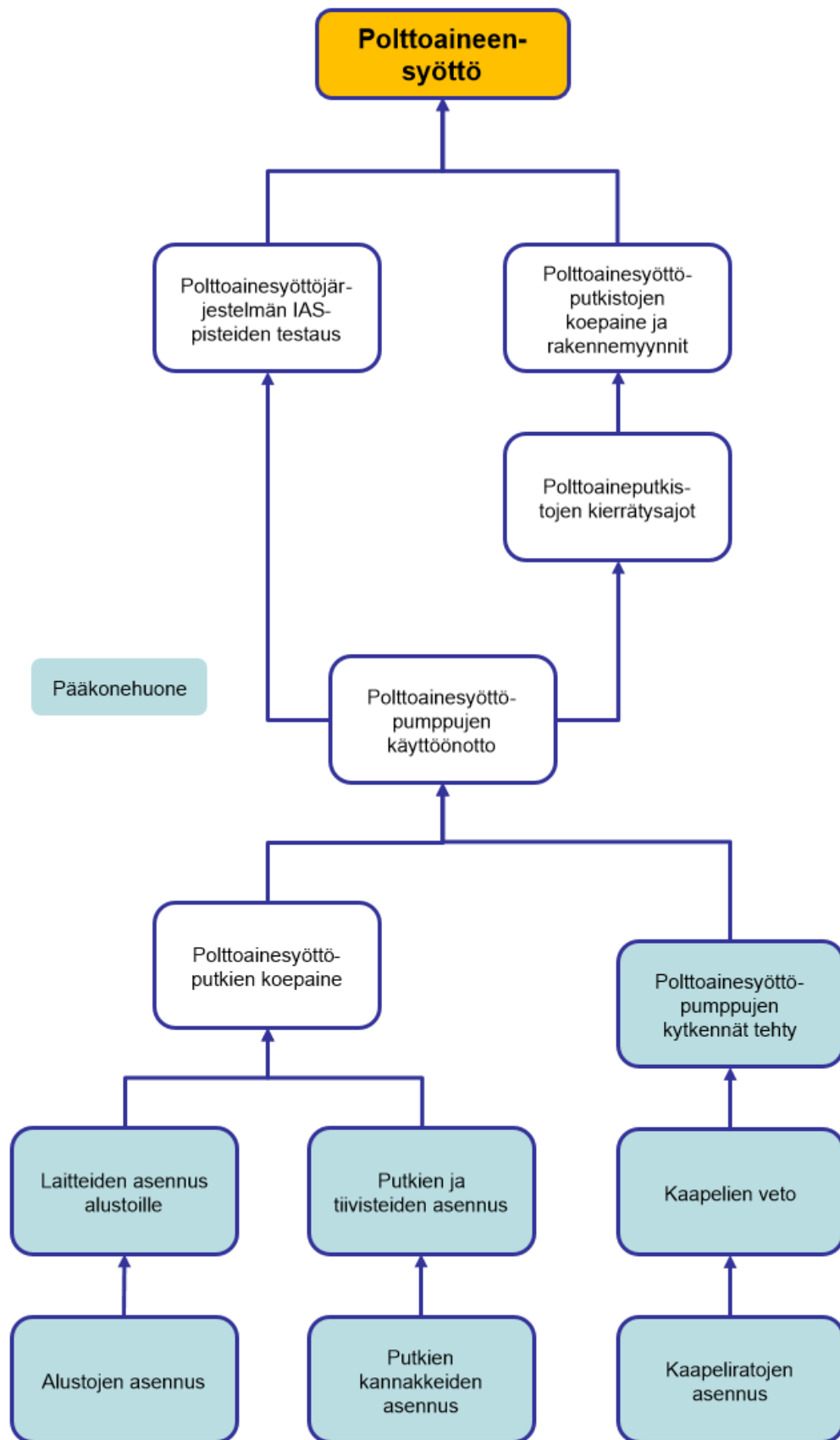
Käyttöönotto tehtäväverkot edustavat alinta tasoa tuotteenosituksen vaiheessa. Seuraavaksi pitää kyseisiin esimerkkijärjestelmiin liittää aluetehtävät, jotta voidaan muodostaa järjestelmäkohtainen tehtäväverkko. Aluetehtävien liittämiseksi tarvitaan tietoa siitä millä alueilla järjestelmä kulkee. Esimerkkijärjestelmistä polttoaineensyöttöjärjestelmä sijaitsee ainoastaan konehuoneessa ja LT/HT-jäähdytysjärjestelmä ulottuu sekä pumppuhuoneeseen että konehuoneeseen. Pakoputket ulottuvat konehuoneeseen ja kuiluun.

## 5.2 Sovelluskohteiden tehtäväverkot

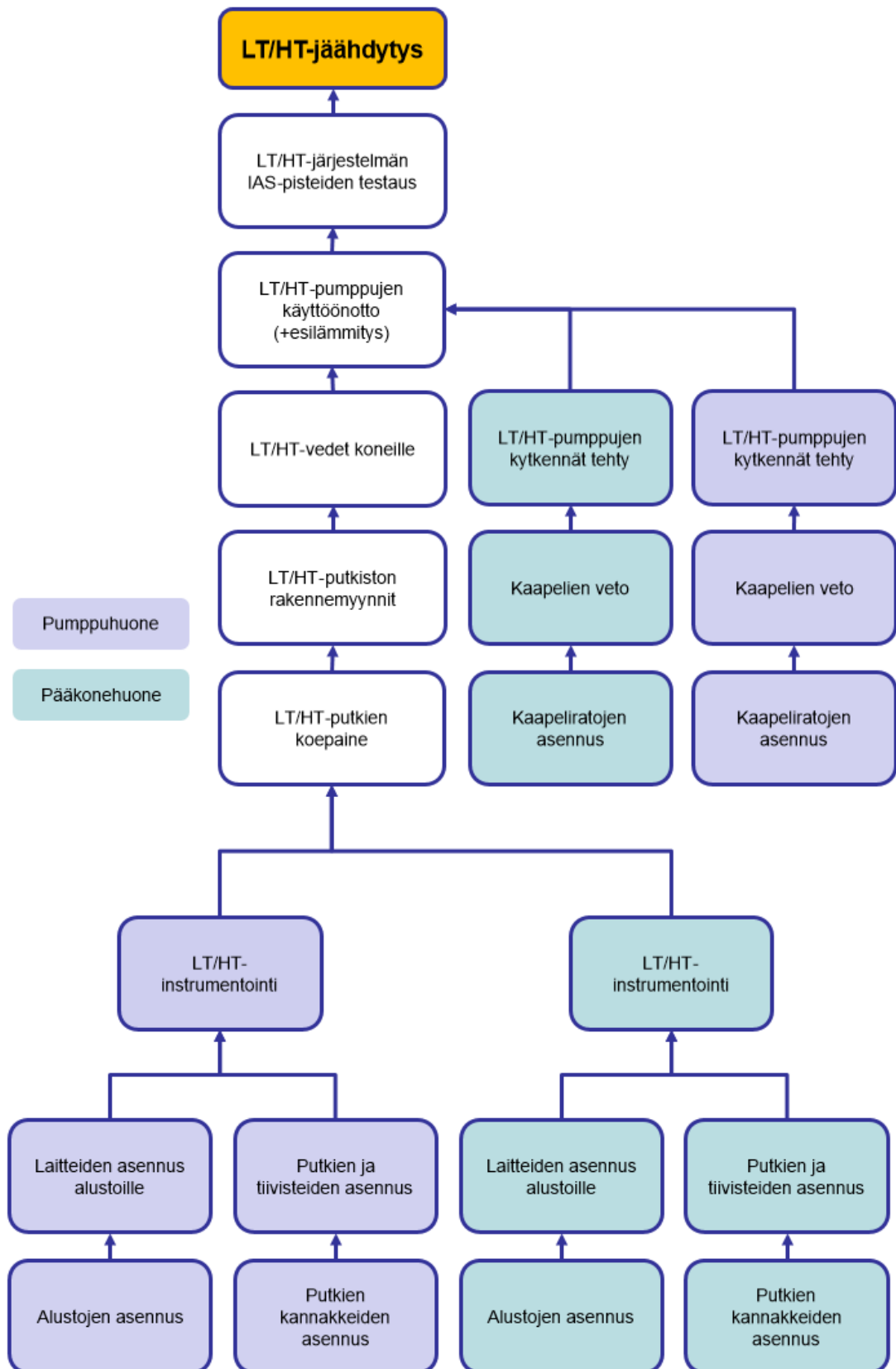
Kuvissa 33, 34 ja 35 on esitetty valmiit tässä tutkimuksessa luodun menetelmän mukaan muodostetut tehtäväverkot esimerkkijärjestelmille. Tietyille alueelle kuuluvat tehtävät on merkitty kuviin värillä. Kuvista voidaan huomata että menetelmän mukaan luodut tehtäväverkot ovat erittäin yksinkertaisia ja näin ollen helposti luettavia. Lisäksi niistä selviää helposti tehtävien väliset loogiset riippuvuudet. Käyttöönotto tehtävistä putkistojen instrumentointitehtävät ja laitteiden kytkentätehtävät ovat aluekohtaisia tehtäviä. Tämä on otettu huomioon tehtäväverkkoja luodessa.



Kuva 33 Pakoputkiston tehtäväverkko



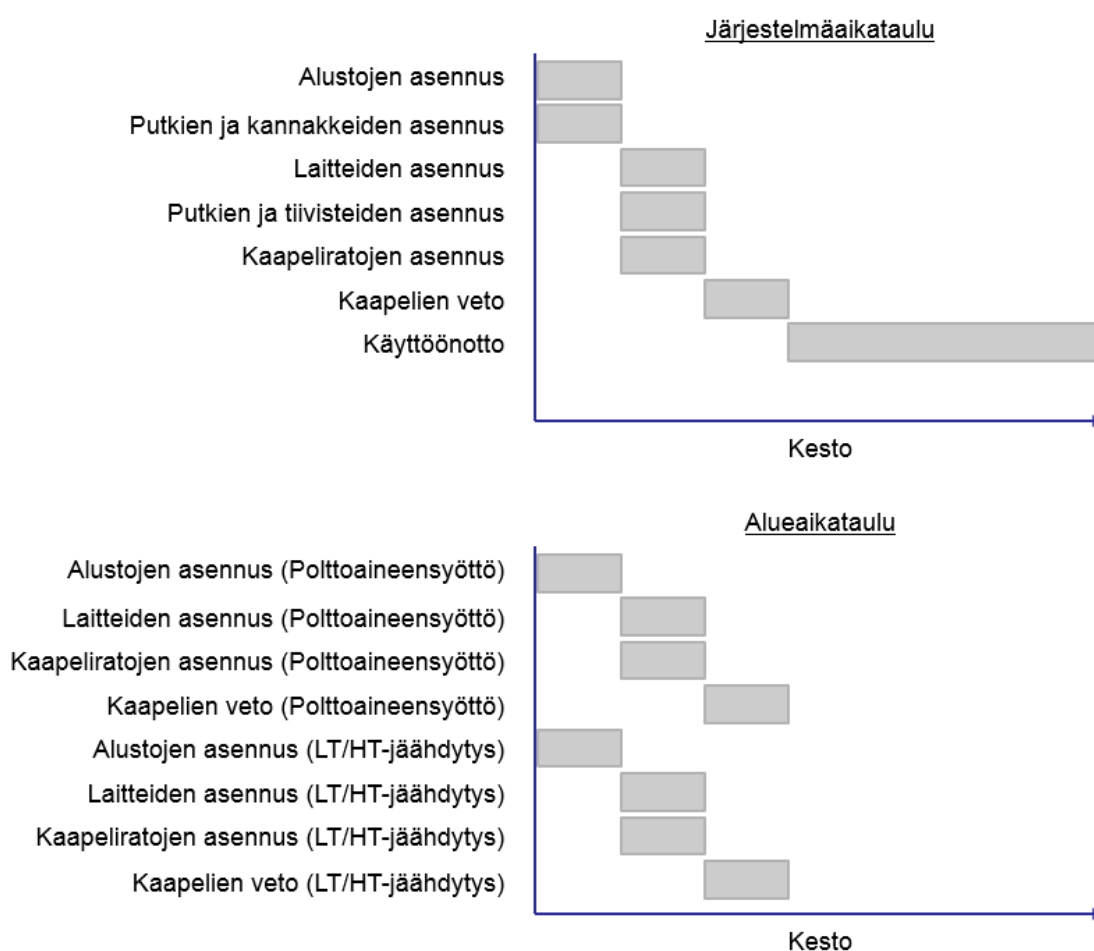
Kuva 34 Polttoaineensyöttöjärjestelmän tehtäväverkko



Kuva 35 LT/HT-jäähdytysjärjestelmän tehtäväverkko

### 5.3 Malliaikataulun luominen

Tässä tutkimuksessa kehitetyllä menetelmällä luodaan ainoastaan tehtäväverkot, joiden avulla on mahdollista selvittää konetornin konevarustelun kriittinen polku. Kuten aikaisemmin on todettu, tarvitaan kriittisen polun luomiseksi tehtävien kestoja avuksi. Nämä ovat kuitenkin rajattuna tämän tutkimuksen ulkopuolelle. Olettaen että kestot ovat tiedossa, voidaan tehtäväverkkojen avulla muodostaa konetornin konevarustelulle sekä järjestelmä- että alueaikataulut. Alla olevassa kuvassa 36 on esitetty molemmat aikataulumuodot.



Kuva 36 Esimerkit järjestelmä- että alueaikatauluista

Kuvasta 36 voidaan nähdä että tehtävien määrä menetelmän myötä nousee huomattavasti. Huomioiden vain PD virstanpylvääseen kuuluvat järjestelmät ja niiden putkityöt, tehtävien määrä nousee kuudesta isosta putkistotehtävästä 32 kappaleeseen. Tämä ei kuitenkaan ole ongelma, sillä menetelmässä luodut aluetehtävät edustavat kestoltaan sellaisia

tehtäviä, jotka ovat kooltaan helposti käsitettäviä ja näin ollen helposti raportoitavia. Lisäksi on syytä ottaa huomioon, että menetelmän avulla muodostetut aluetehtävät toimivat aluetyönjohtajien työlistana, josta heidän on helppo nähdä tehdyt ja tekemättömät tehtävät.

Konetornin kriittisen polun määrittelemiseksi pitää menetelmää soveltaa kaikkiin konetornin järjestelmiin. Kriittisen polun luomisen seurauksena pystytään tehostamaan konevarustelua ja näin ollen parantamaan tuotannonohjausta. Kriittisen polun selvittäminen mahdollistaa myös paremman resurssien ja aikataulun hallinnan konevarustelun osalta, mikä puolestaan johtaa lyhempään läpimenoaikaan sekä työtuntien vähenemiseen. Lisäksi on syytä ottaa huomioon, että riippuvuussuhteet selvittämällä ne saadaan tallennettua osaksi tehtäväverkkoja. Tämän avulla pystytään välttämään ikääntyvien työntekijöiden ammattiosaamisen katoaminen.



## 6 Tulosten tarkastelu

Vaikka laivaprojektit ovat tilaustyönä tehtyjä kertaluontoisia toimitusprojekteja, voidaan menetelmän avulla luoda konetornin järjestelmille selkeät tehtäväverkot, jotka sisältävät tehtävien väliset riippuvuussuhteet. Menetelmä on sovellettavissa laivatyyppistä riippumatta. Esimerkiksi menetelmässä käytettyjä virstanpylväitä sovelletaan kaikkiin AHS:n rakentamiin laivoihin. Menetelmässä käytetty järjestelmäjaottelu perustuu tyypillisiin järjestelmiin, joita työaluksista löytyy.

Tehtäväverkkojen avulla saadaan selkeästi esille konetornin eri järjestelmien loogiset riippuvuussuhteet. Näin aikatauluista saadaan luotua selkeitä ja yksinkertaisia, jolloin työntekijät eivät joudu tilanteeseen, jossa edeltävä tehtävä on vielä kesken. Aikataulujen yksinkertaistaminen ja selkeyttäminen on tärkeää projektin kannalta, sillä aikatauluilla on suuri vaikutus projektin tavoitteisiin. Helppolukuisuus, riippuvuussuhteet sisältävä ja yksiselitteisyys täyttävät hyvän aikataulun kriteerit.

Menetelmän avulla luodut aluetehtävät ovat kooltaan ja sisällöltään valikoitu sellaisiksi, että ne ovat aluetyönjohtajille selkeitä ja helposti käsiteltäviä. Tämän avulla on pyritty parantamaan AHS:n käyttämien alueaikataulujen ongelmaa, jossa aluetehtävät ovat kooltaan isoja ja vaikeasti käsiteltäviä. Aluetehtävien pilkkomisen seurauksena myös edistymän raportointi helpottuu, sillä työnjohtajat eivät enää joudu arvioimaan koko alueen putkiston edistymistä, vaan he raportoivat alueen putkistojen edistymistä järjestelmäpohjaisesti. Lisäksi menetelmän avulla luodut uudet alueaikataulut voivat myös toimia työlis-toina työnjohtajille.

Aluetehtävien osittamisen myötä esimerkiksi 20 viikon kestoiset suuret putkistotehtävät on pilkottu suositusten mukaisesti 3-4 viikon kestoisiksi tehtäviksi. Vaikka tämä nostaa työtehtävien lukumäärää huomattavasti, se pienentää kuitenkin työnjohtajien työmäärää selkeämpien tehtäväkestojen myötä. Esimerkiksi työnjohtaja joutuu tällä hetkellä raporttoimaan suurta tehtävää useasti. Menetelmän soveltamisen myötä tehtävien koot ovat sel-laisia, että raportointitiheys pienenee merkittävästi. Esimerkiksi konetornin nykyiset 6 isoa putkistotehtävää muuttuu menetelmän myötä 32 pienempään putkistotehtävään. Pie-nempiä tehtäviä tarvitsee raportoida kerran tai kaksi, kun taas suurta tehtävää tarvitsee raportoida jatkuvasti.

Koska aluetehtävien edistymää voidaan helpommin raportoida paremmalla tarkkuudella, helpottuu myös tehtävien todellisen valmiuden seuraaminen. Tämä puolestaan parantaa projektijohdon osalta laivan edistymisen seurantaan, jolloin ennustettavuuskin paranee. Projektijohto pystyy myös menetelmän johdosta seuraamaan eri järjestelmien ja alueiden valmistumista, mikä mahdollistaa aikaisemman reagoimisen mahdollisiin ongelmiin laivan edistymisessä. Tämä antaa projektijohdolle mahdollisuuden reagoida ajoissa esimerkiksi siirtämällä tarvittavat resurssit tietylle alueelle tai järjestelmälle.

Menetelmän hyötyjä pohdittaessa on syytä ottaa huomioon sen vaikutus projektin tavoitteisiin. Menetelmää käyttämällä voidaan konetornin konevarustelun kriittinen polku saada selville, jonka seurauksena projektin aikataavoite ja kriittiselle polulle asettuvien varustelutöiden seuraaminen selkeytyy. Aikatavoitteen selkeytymisen myötä konetornin konevarusteluun käytettävä aika pienenee ja näin ollen se vähentää projektin laatuongelmia sekä kustannuksia. Konevarusteluun käytettävän ajan pienentyessä myös läpimenoaika lyhenee.

### **Menetelmän erot eri malleihin**

Aluepohjaisten aikataulujen lisäksi menetelmässä käytetään järjestelmäpohjaisia aikatauluja. Tämä mahdollistaa sekä alueiden että järjestelmien valmistumisen seurannan. Järjestelmäpohjaisten aikataulujen ansiosta järjestelmien käyttöönottoaminen helpottuu. Menetelmässä käytetyt aluetehtävät eroavat suuresti AHS:n omista aluetehtävistä. AHS:n aluetehtävät ovat suuria kokonaisuuksia, joita on vaikea hallita ja jotka eivät erottele alueiden sisällä olevia järjestelmiä.

Menetelmässä aluetehtävät ovat helpommin hallittavia pienempiä ja selkeämpiä kokonaisuuksia, jotka on ositettu järjestelmät huomioon ottaen. Selkeät ja realistiset aluetehtävät johtavat selkeisiin ja realistisiin aikatauluihin. Nämä puolestaan takaavat projektille selkeät ja realistiset päämäärät, jotka ovat samalla myös onnistuneen projektin kriteerit.

MCR-toiminnanohjausmalli tarjoaa erittäin hienojakoisen tehtävien osittamisen. Tämä on kuitenkin osoittautunut raskaaksi sen vaatiman raportoinnin ja paperityömäärän takia. Tässä tutkimuksessa kehitetyssä menetelmässä vältetään liian hienojakoista jaottelua. MCR-mallin hyvänä puolena on sen yksityiskohtainen jaottelu eri järjestelmien työtehtäville. Tämä otettiin huomioon menetelmän aluetehtäviä luodessa.

Wei, et al. (2010) malli tarjoaa geneerisen tavan selvittää varusteluun liittyviä riippuvuuksia. Malli tarjoaa hyvän pohjan aluetehtävien määrittelemiselle, sillä siinä on määritelty eri ryhmät tehtäville. Tässä tutkimuksessa luotu menetelmä vie Wei, et al. (2010) esittämän ryhmäjaottelun pidemmälle yhdistämällä sen jo olemassa oleviin malleihin ja projektinhallinnassa käytettäviin työkaluihin.

Menetelmää luodessa onnistuttiin integroimaan eri mallien hyvät puolet osaksi menetelmää yhdistämällä niihin projektinhallinnan hyväksi todettuja työkaluja. Näin menetelmästä saatiin luotua monipuolinen tapa ryhmitellä ja osittaa aluetehtäviä järjestelmille, joka kuitenkin ottaa huomioon AHS:n käyttämän rakentamistavan ja virstanpylväät.

## 7 Johtopäätökset

Tässä tutkimuksessa kehitetty menetelmä perustuu parhaiksi todettujen projektinhallinnan aikataulutuksen työkalujen hyödyntämiseen yhdessä Arctech Helsinki Shipyardin toiminnanohjausmallin ja venäläisten käyttämän MCR-toiminnanohjausmallin kanssa. Menetelmässä hyödynnetään myös Wei, et al. (2010) luomaa analyyttistä menetelmää. Menetelmä tarjoaa ratkaisun, jolla voidaan konetornin konevarustelu osittaa niin, että se yhdistää aluerakentamisen tavan järjestelmäpohjaiseen suunnitteluun.

Menetelmää soveltamalla saadaan konetornin konevarustelulle luotua yksinkertaiset ja selkeät alue- ja järjestelmäaikataulut, joita voidaan myös hyödyntää työtä ohjaavina työlistoina. Järjestelmäpohjaisten aikataulujen avulla saadaan selville konetornin varustelun riippuvuussuhteet, minkä seurauksena myös laivaprojektien läpinäkyvyys ja ennustettavuus paranee. Lisäksi aluepohjaisen työnosittamisen seurauksena saatiin vähennettyä tehtävien raportointitiheyttä.

Projektit vaativat onnistuakseen selkeän päämäärän ja tavoitteet, realistisen aikataulun ja budjetissa pitäytymisen. Tässä tutkimuksessa luotu menetelmä tarjoaa työkalut näiden kriteerien saavuttamiseksi. Kuitenkin konetornin kriittistä polkua määriteltäessä, menetelmällä luotuihin tehtäväverkkojen tehtäviin pitää lisäksi määritellä kestot. Tämän takia seuraava haaste menetelmää kehitettäessä on kestojen huomioon ottaminen.

Tehtävien kestoja pohdittaessa on myös syytä ottaa huomioon erilaisten epävarmuustekijöiden vaikutukset konetornin kriittiseen polkuun. Tällaisia epävarmuustekijöitä ovat esimerkiksi tavaroiden myöhäiset toimitukset tai onnettomuudet, jotka voivat viivästyttää tuotantoa. Menetelmää tulisi kehittää siten, että se pystyy ottamaan huomioon tällaisia erilaisia epävarmuustekijöitä.

## 8 Lähdeluettelo

Arctech Helsinki Shipyard Oy, 2014. *Arctech*. [Online]

Available at: <http://arctech.fi/fi/>

[Haettu 2 Marraskuu 2014].

Arctech Helsinki Shipyard Oy, 2015. *Navisworks 3D-malli*. Helsinki: Telakan sisäinen materiaali.

Arctech Helsinki Shipyard Oy, 2015. *Telakan käyttämät virstanpylväät, käyttöönotto- ja alueaikataulut*. Helsinki: Telakan sisäinen materiaali.

Artto, K., Martinsuo, M. & Kujala, J., 2008. *Projektiliiketoiminta*. 2 toim. Helsinki: WSOY.

Atkinson, R., 1999. Project management: cost, time and quality, two best guesses and a phenomenon, its time to accept other success criteria. *International Journal of Project Management*, 17(6), pp. 337-342.

Baccarini, D., 1996. The concept of project complexity - a review. *International Journal of Project Management*, 14(4), pp. 201-204.

Bachy, G. & Hameri, A.-P., 1997. What to be implemented at the early stage of a large-scale project. *International Journal of Project Management*, 15(4), pp. 211-218.

Braglia, M., Castellano, D. & Frosolini, M., 2014. Computer-aided activity planning (CAAP) in large-scale projects with an application in the yachting industry. *Computers in Industry*, 65(4), pp. 733-745.

Chang, I. S., Tsujimura, Y., Gen, M. & Tozawa, T., 1995. An efficient approach for large scale project planning based on fuzzy delphi method. *Fuzzy Sets and Systems*, Osa/vuosikerta 76, pp. 277-288.

Dong, F., Deglise-Hawkinson, J., Van Oyen, M. P. & Singer, D. J., 2013. Analytical Approach to a Two-stage Queuing Network for the Planning of Outfitting Processes in Shipbuilding. *Journal of Ship Production and Design*, 29(3), pp. 136-141.

- Gardiner, P. D. & Stewart, K., 2000. Revisiting the golden triangle of cost, time and quality: the role of NPV in project control, success and failure. *International Journal of Project Management*, Osa/vuosikerta 18, pp. 251-256.
- Globerson, S., 1994. Impact of various work-breakdown structures on project conceptualization. *International Journal of project management*, 12(3), pp. 165-171.
- Guerin, C., Hoc, J.-M. & Mebarki, N., 2012. The nature of expertise in industrial scheduling: Strategic and tactical processes, constraint and object management. *International Journal of Industrial Economics*, 42(5), pp. 457-468.
- Hameri, A.-P., 1997. Project management in a long-term and global one-of-a-kind project. *International Journal of Project Management*, 15(3), pp. 151-157.
- Havas, T., 2014. *Aikataulutus ja raportointi* [Haastattelu] (2 Lokakuu 2014).
- Holmström, J., 1997. Varustelu. Teoksessa: P. Räisänen, toim. *Laivatekniikka*. Jyväskylä: Gummerrus Kirjapaino Oy, pp. 39-1 - 39-23.
- Holopainen, J., 2014. *Alueaikataulutuksen ongelmat* [Haastattelu] (9 Lokakuu 2014).
- Jun-yan, L., 2012. Schedule uncertainty control: A literature review. *Physics Procedia*, Osa/vuosikerta 33, pp. 1842-1848.
- Koppenjan, J. ym., 2011. Competing management approaches in large engineering projects: The Dutch RandstadRail project. *International Journal of Project Management*, 29(6), pp. 740-750.
- Kujala, L., 2015. *Rakennustavan vaikutus konealueiden varustelun tehokkuuteen kokoonpanotelakkakonseptissa*. Espoo: Aalto Yliopisto.
- Lanford, H. W. & McCann, T. M., 1983. Effective planning and control of large projects - Using work breakdown structure. *Long Range Planning*, 16(2), pp. 38-50.
- Lee, J. K. ym., 1997. Developing scheduling systems for Daewoo shipbuilding: DAS project. *European Journal of Operational Research*, 97(2), pp. 380-395.
- Lester, A., 2003. *Project planning and control*. 4 toim. Oxford: Butterworth-Heinemann.

Li, W., Nault, B. R., Xue, D. & Tu, Y., 2011. An efficient heuristic for adaptive production scheduling and control in one-of-a-kind production. *Computers and Operations Research*, 38(1), pp. 267-276.

Maylor, H., 2001. Beyond the Gantt Chart: Project management moving on. *European Management Journal*, 19(1), pp. 92-100.

Munns, A. K. & Bjeirmi, B. F., 1996. The role of project management in achieving project success. *International Journal of Project Management*, 14(2), pp. 81-87.

Myllylä, J., 2014. *MCR toiminnanohjausmalli* [Haastattelu] (29 Syyskuu 2014).

Pelin, R., 1990. *Projektin suunnittelu ja ohjaus käsikirja*. 1 toim. Hämeenlinna: Weilin + Göös.

Tu, Y., 1997. Production planning in a virtual one-of-a-kind production company. *Computers in Industry*, 34(3), pp. 271-283.

Wei, Y., Nienhuis, U. & Moredo, E., 2010. Two Approaches to Scheduling Outfitting Processes in Shipbuilding. *Journal of Ship Production*, 26(1), pp. 20-28.

White, D. & Fortune, J., 2002. Current practice in project management - An empirical study. *International Journal of Project Management*, 1(20), pp. 1-11.

Williams, T., 1999. The need for new paradigms for complex projects. *International Journal of Project Management*, 17(5), pp. 269-273.

Wilson, J. M., 2003. Gantt charts: A centenary appreciation. *European Journal of Operational Research*, Osa/vuosikerta 149, pp. 430-437.